



Escuela  
Politécnica  
Superior

# Diseño e Implementación de una Caja de Ritmos Analógica Controlada Digitalmente



Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen  
en Telecomunicación

## Trabajo Fin de Grado

Autor:

Jose María Bañón Honrubia

Tutor:

Jose Manuel Iñesta Quereda

Septiembre 2020



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



# Diseño e implementación de una caja de ritmos analógica controlada digitalmente

---

## **Autor**

Jose María Bañón Honrubia

## **Tutor/es**

José Manuel Iñesta Quereda

*Departamento de Lenguaje y Sistemas Informáticos*



Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen en Telecomunicación



Escuela  
Politécnica  
Superior



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

ALICANTE, septiembre 2020



# Agradecimientos

A mi familia, amigos, compañeros y profesores de la universidad por todo el apoyo recibido por su parte estos años atrás.



# Resumen

En este proyecto se pretende diseñar e implementar los circuitos necesarios para la creación de una caja de ritmos analógica de 4 voces, es decir, será capaz de generar 4 sonidos diferentes a la vez. Este tipo de dispositivos se considera un instrumento musical de carácter percusivo, es decir, los sonidos que se crean serán muy parecidos a los que se pueden hacer con una batería, en la que para hacerla sonar se golpean membranas de mayor o menor tamaño y de distintos materiales, según el sonido que se quiera producir. Este tipo de instrumentos implica el uso de la electricidad en su funcionamiento.

Hay muchos tipos de cajas de ritmos. Considerando dos grandes grupos, podemos hablar de analógicas o digitales. En las cajas de ritmos analógicas, la manera de generar el sonido es mediante el uso de VCO u osciladores controlados por voltaje. En las cajas de ritmos digitales los sonidos pueden estar almacenados en una memoria de la que se hace uso para su reproducción.

En este proyecto se han diseñado varios sistemas. El primero de ellos el sistema de secuenciación. En resumen, es el encargado de enviar a cada oscilador una señal que hace que este se activó o se desactive, según convenga. Para ello está compuesto de varios subsistemas que consiguen este objetivo.

El segundo es el sistema de control de velocidad, que se encarga de enviar al sistema de secuenciación una señal de reloj de 120 bombos por minuto, o lo que es lo mismo, una señal de 2 Hz. En este caso se hace uso de un microcontrolador modelo MSP430G2553 de TEXAS INSTRUMENT.

El tercero es el sistema de generación de señal, el cual está compuesto por un VCO y un LFO que se activaran y desactivaran según marque el primer sistema.

El cuarto es el sistema de mezclado de señales, encargado de sumar las señales del VCO y el LFO para pasarlo al quinto sistema compuesto por un filtro paso bajo, el cual solo dejará pasar hasta una frecuencia determinada.

Por último, el quinto es el sistema de generador de envolvente, el cual está dominado por dos potenciómetros encargados de controlar el tiempo de ataque y el tiempo de relajación de la señal filtrada.

El resultado final supone cuatro líneas o voces compuestas por cada uno de los sistemas explicados.

Este proyecto se considera una primera aproximación en el diseño de la caja de ritmos analógica, lo que implica posibles mejoras en un futuro.

Para realizar todos los diseños se ha hecho uso del software PROTEUS, el cual es capaz de simular cualquier tipo de circuito electrónico sin necesidad de adquirir los componentes, lo que supone un ahorro importante a la hora de trabajar en la implementación.





# Abstract

This project aims to design and implement the necessary circuits for the creation of a 4-voice analog rhythm box, that is, it will be able to generate 4 different sounds at once. This type of device is considered a musical instrument of percussive character, that is, the sounds that are created will be very similar to those that can be made with a battery, in which to make it sound they hit membranes of greater or lesser size and different materials, according to the sound you want to produce. Such instruments involve the use of electricity in their operation.

There are many types of rhythm boxes. Considering two large groups, we can talk about analog or digital. In analog rhythm boxes, the way to generate sound is by using VCO or voltage-controlled oscillators. In digital rhythm boxes, sounds can be stored in a memory that is used for reproduction.

Several systems have been designed in this project. The first is the sequencing system. In short, it is responsible for sending each oscillator a signal that causes it to be activated or deactivated, as appropriate. For this purpose, it is composed of several subsystems that achieve this objective.

The second is the speed control system, which is responsible for sending to the sequencing system a clock signal of 120 drums per minute, or what is the same, a signal of 2 Hz. In this case a microcontroller model MSP430G2553 of TEXAS INSTRUMENT is used.

The third is the signal generation system, which is composed of a VCO and a LFO that will be activated and deactivated according to the first system. The fourth is the mixing system of signals, responsible for adding the signals of the VCO and the LFO to pass it to the fifth system composed of a low-pass filter, which will only pass up to a certain frequency.

Finally, the fifth is the envelope generator system, which is dominated by two potentiometers charged with controlling the attack time and the relaxation time of the filtered signal.

The final result is four lines or voices composed by each of the systems explained.

This project is considered a first approximation in the design of the analog rhythm box, which implies possible improvements in the future.

To make all the designs has been made use of PROTEUS software, which is able to simulate any type of electronic circuit without the need to acquire the components, which is a significant saving when working on the implementation.



## ÍNDICE GENERAL

<b>1.INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 SÍNTESIS DE SONIDO .....	1
1.2 LOS PRIMEROS SINTETIZADORES .....	2
1.3 ELEMENTOS COMUNES DE LA SÍNTESIS .....	4
1.3.1 Oscilador controlado por tensión.....	4
1.3.2 Filtro controlado por tensión.....	5
1.3.3 Amplificador controlado por tensión.....	5
1.3.4 Oscilador de baja frecuencia LFO .....	6
1.3.5 Generadores de envolvente .....	7
1.3.6 Tipos de señal.....	9
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1 SISTEMA DE SECUENCIACIÓN .....	12
2.2 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD EN BPM (MSP430) .....	12
2.3 SISTEMA DE GENERACIÓN DE SEÑAL VCO-LFO .....	12
2.4 SISTEMA DE MEZCLADO.....	12
2.5 SISTEMA DE FILTRADO.....	13
2.6 SISTEMA DE ENVOLVENTE.....	13
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
3.1 SISTEMA DE SECUENCIACIÓN .....	15
3.1.1 Subsistema de conteo de tiempos .....	16
3.1.2 Subsistema de visualización y carga .....	19
3.2 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD BPM (MSP430).....	24
3.3 SISTEMA DE GENERACIÓN DE SEÑAL.....	25
3.4 SISTEMA DE MEZCLADO.....	27
3.5 SISTEMA FILTRADO .....	27
3.6 SISTEMA DE ENVOLVENTE.....	28
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 SISTEMA DE SECUENCIACIÓN .....	31

4.1.1 Subsistema de conteo de tiempos .....	31
4.1.2 Subsistema de visualización y carga .....	35
4.2 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD BPM (MSP430).....	41
4.3 SISTEMA DE GENERACIÓN DE SEÑAL.....	41
4.4 SISTEMA DE MEZCLADO.....	42
4.5 SISTEMA FILTRADO .....	43
4.6 SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENVOLVENTE .....	43
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: EL RCA MkII FUE EL PRIMER PROTOTIPO DE SINTETIZADOR (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 169). .....	3
FIGURA 1. 2: EL SINTETIZADOR MOOG 55 DE 1971 (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 169).....	3
FIGURA 1. 3: EL MINIMOOG, PRIMER SINTETIZADOR COMERCIAL DE 1970 (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 170). .....	4
FIGURA 1. 4: EL VCS3 DE E.M.S. 1969 (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 170). .....	4
FIGURA 1. 5: OSCILADOR CONTROLADO POR TENSIÓN (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 175).....	5
FIGURA 1. 6: FILTRO CONTROLADO POR TENSIÓN (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 175). .....	5
FIGURA 1. 7: AMPLIFICADOR CONTROLADO POR TENSIÓN (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 175). ..	6
FIGURA 1. 8: MODULACIÓN DE AMPLITUD, TRÉMOLO (IZQUIERDA) Y FORMA DE ONDA (DERECHA) (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 177). .....	6
FIGURA 1. 9: MODULACIÓN EN FRECUENCIA, VIBRATO (IZQUIERDA), Y FORMA DE ONDA (DERECHA) (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 177). .....	6
FIGURA 1. 10: MODULACIÓN EN FRECUENCIA DE CORTE (IZQUIERDA), Y FORMA DE ONDA (DERECHA) (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 177). .....	7
FIGURA 1. 11: ESQUEMA DE GENERADOR DE ENVOLVENTE ASR. CON FASE ESTABLE (IZQUIERDA), SIN ELLA (CURVA AR, DERECHA) (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 178). .....	8
FIGURA 1. 12: FORMA GENERAL DE ENVOLVENTE TIPO ADSR (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 178). .....	8
FIGURA 1. 13: CURVAS TÍPICAS DE ENVOLVENTES (IZQUIERDA, AMPLITUD NORMALIZADA, DERECHA, EQUIVALENTES EN DB) (VÉASE <i>SÍNTESIS DIGITAL DE SONIDO</i> 2016, P. 179). .....	9
FIGURA 2. 14: DIAGRAMA DE BLOQUES “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	11
FIGURA 3. 15: IMAGEN DE SISTEMA DE SECUENCIACIÓN 1 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	15
FIGURA 3. 16: IMAGEN DE SISTEMA DE SECUENCIACIÓN 2 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	16
FIGURA 3. 17: IMAGEN DE SUBSISTEMA DE CONTEO DE TIEMPOS “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	16
FIGURA 3. 18: CONFIGURACIÓN ASÍNCRONA DE LOS BIESTABLES JK MODELO 74LS76 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	17
FIGURA 3. 19: DIAGRAMA LÓGICO DEL BIESTABLE JK MODELO 74LS76 (VÉASE <i>DATASHEET 74LS76</i> , P. 2).....	17
FIGURA 3. 20: DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL DEMULTIPLEXOR MODELO 74154 (VÉASE <i>DATASHEET 74154</i> , P. 1). ....	18
FIGURA 3. 21: CONFIGURACIÓN DEL DEMULTIPLEXOR MODELO 74154 PARA LA ILUMINACIÓN DE LOS 8 LED EN CADA ESTADO DE TIEMPO “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	18
FIGURA 3. 22: IMAGEN DE CONTADOR DE CUATRO ESTADOS “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	19
FIGURA 3. 23: IMAGEN DE MEMORIA MEDIANTE REGISTROS “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	20
FIGURA 3. 24: DIAGRAMA LÓGICO DEL REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO MODELO 74195 (VÉASE <i>DATASHEET 74195</i> , P. 2). ....	21
FIGURA 3. 25: IMAGEN DEL SUBSISTEMA DE VISUALIZACIÓN DE REGISTROS “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	22

FIGURA 3. 26: IMAGEN DE DOS DE LOS CUATRO MULTIPLEXORES PARA SALIDA DE LAS SEÑALES DE CADA VOZ “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	23
FIGURA 3. 27: DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL MULTIPLEXOR MODELO 74151 (VÉASE DATASHEET 74151, P. 2). ....	23
FIGURA 3. 28: IMAGEN DE MSP430G2553 CON LA PATILLA P1.0 CONECTADA COMO SEÑAL DE RELOJ EN EL CONTADOR DE 8 TIEMPOS “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	24
FIGURA 3. 29: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL VCO MODELO CD4046B (VÉASE DATASHEET CD4046B, P. 1).....	25
FIGURA 3. 30: IMAGEN DE VCO (U70) Y LFO (U72) “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	26
FIGURA 3. 31: GRAFICA DE VALORES DE CONDENSADORES PARA FRECUENCIAS DE SALIDA DEL CD4046B (VÉASE DATASHEET CD4046B, P. 4). ....	26
FIGURA 3. 32: IMAGEN CORRESPONDIENTE AL SUMADOR U73 MODELO 7483 “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	27
FIGURA 3. 33: IMAGEN DEL FILTRO PASO BAJO “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	28
FIGURA 3. 34: IMAGEN 1 DEL GENERADOR DE ENVOLVENTE TIPO AR “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	29
FIGURA 3. 35: IMAGEN 2 DEL GENERADOR DE ENVOLVENTE TIPO AR “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	29
FIGURA 4. 36: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 1 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	31
FIGURA 4. 37: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 2 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	32
FIGURA 4. 38: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 3 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	32
FIGURA 4. 39: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 4 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	33
FIGURA 4. 40: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 5 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	33
FIGURA 4. 41: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 6 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	34
FIGURA 4. 42: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 7 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	34
FIGURA 4. 43: IMAGEN DEL CONTADOR DE 8 ESTADOS. ESTADO 8 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	35
FIGURA 4. 44: IMAGEN DEL CONTADOR DE 4 ESTADOS. VOZ 1 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	35
FIGURA 4. 45: IMAGEN DEL CONTADOR DE 4 ESTADOS. VOZ 2 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	36
FIGURA 4. 46: IMAGEN DEL CONTADOR DE 4 ESTADOS. VOZ 3 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	36
FIGURA 4. 47: IMAGEN DEL CONTADOR DE 4 ESTADOS. VOZ 4 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	37
FIGURA 4. 48: IMAGEN DE PULSADORES SELECCIONADOS PARA LA VOZ 1 “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	37
FIGURA 4. 49: MEMORIA CON REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO CORRESPONDIENTE A LA VOZ 1 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	37
FIGURA 4. 50: LEDS ILUMINADOS CORRESPONDIENTES A LA MEMORIA DE LA VOZ 1 “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	38
FIGURA 4. 51: IMAGEN DE PULSADORES SELECCIONADOS PARA LA VOZ 2 “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	38
FIGURA 4. 52: MEMORIA CON REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO CORRESPONDIENTE A LA VOZ 2 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	38
FIGURA 4. 53: LEDS ILUMINADOS CORRESPONDIENTES A LA MEMORIA DE LA VOZ 2 “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	38
FIGURA 4. 54: IMAGEN DE PULSADORES SELECCIONADOS PARA LA VOZ 3 “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	39
FIGURA 4. 55: MEMORIA CON REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO CORRESPONDIENTE A LA VOZ 3 “ELABORACIÓN PROPIA ”. ....	39
FIGURA 4. 56: LEDS ILUMINADOS CORRESPONDIENTES A LA MEMORIA DE LA VOZ 3 “ELABORACIÓN PROPIA ”.....	39



FIGURA 4. 57: IMAGEN DE PULSADORES SELECCIONADOS PARA LA VOZ 4 “ELABORACIÓN PROPIA” .....	39
FIGURA 4. 58: MEMORIA CON REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO CORRESPONDIENTE A LA VOZ 4 “ELABORACIÓN PROPIA” .....	40
FIGURA 4. 59: LEDS ILUMINADOS CORRESPONDIENTES A LA MEMORIA DE LA VOZ 4 “ELABORACIÓN PROPIA” .....	40
FIGURA 4. 60: RESULTADO A LA SALIDA DE LOS MULTIPLEXORES CORRESPONDIENTES A CADA UNA DE LAS VOCES DE LA CAJA DE RITMOS “ELABORACIÓN PROPIA” .....	40
FIGURA 4. 61: RESULTADO DE LA SEÑAL DE RELOJ PROGRAMADA MEDIANTE LA MSP430G2553 “ELABORACIÓN PROPIA” .....	41
FIGURA 4. 62: RESULTADO DE LA SALIDA DEL VCO (SEÑAL EN AMARILLO) Y EL LFO (SEÑAL EN AZUL) “ELABORACIÓN PROPIA” .....	42
FIGURA 4. 63: RESULTADO A LA SALIDA DEL SUMADOR (AZUL, ENTRADA LFO, ROJA, ENTRADA VCO, VERDE, SEÑAL RESULTANTE) “ELABORACIÓN PROPIA” .....	42
FIGURA 4. 64: RESULTADO EN FRECUENCIA DEL FILTRO PASO-BAJO “ELABORACIÓN PROPIA” .....	43
FIGURA 4. 65: SEÑAL DE ENTRADA AL FILTRO GENERADOR DE ENVOLVENTE “ELABORACIÓN PROPIA” .....	44
FIGURA 4. 66: SEÑAL DE SALIDA DEL FILTRO GENERADOR DE ENVOLVENTE. EFECTO DE ATAQUE 0%, EFECTO DE RELAJACIÓN 50% “ELABORACIÓN PROPIA” .....	44
FIGURA 4. 67: SEÑAL DE SALIDA DEL FILTRO GENERADOR DE ENVOLVENTE. EFECTO DE ATAQUE 0%, EFECTO DE RELAJACIÓN 100% “ELABORACIÓN PROPIA” .....	45
FIGURA 4. 68: SEÑAL DE SALIDA DEL FILTRO GENERADOR DE ENVOLVENTE. SEÑAL DE ATAQUE 100% “ELABORACIÓN PROPIA” .....	45
FIGURA 4. 69: SEÑAL DE SALIDA DEL FILTRO GENERADOR DE ENVOLVENTE. SEÑAL DE ATAQUE 40%, SEÑAL DE RELAJACIÓN 50% “ELABORACIÓN PROPIA” .....	46



## INDICE DE TABLAS

TABLA 1: TABLA DE LA VERDAD DEL BIESTABLE JK MODELO 74LS76 (VÉASE <i>DATASHEET 74LS76</i> , p. 1). .....	17
TABLA 2.: TABLA DE LA VERDAD DEL REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO MODELO 74195 (VÉASE <i>DATASHEET 74195</i> , p. 2). .....	21



# 1.Introducción

A continuación, vamos a hacer un pequeño repaso de la historia de la síntesis. También vamos a tratar los componentes básicos de los que hace uso un sintetizador, el cual está muy ligado a una caja de ritmos.

A finales del siglo XIX se empezaron a buscar nuevos sonidos musicales. La electricidad comenzó a convivir con la sociedad con la aparición del telégrafo. En 1874 el ingeniero Elisha Gray creó una especie de telégrafo musical capaz de hacer sonar a distancia timbres afinados con el uso de un teclado. Este dispositivo hacía sonar campanillas y supuso el primer intento de asociar la electricidad a la música.

## 1.1 Síntesis de sonido

En un principio, cuando un altavoz recibe una señal la cual no se genera mediante una grabación previa de un sonido, sino que produjo mediante componentes electrónicos, hablamos de una señal sintetizada.

Dichos sistemas son conocidos como sintetizadores o cajas de ritmos, y generan sonidos utilizando métodos de síntesis. La producción de estos se ha masificado debido a la reducción en costes y los avances producidos en la circuitería electrónica junto con la aparición de softwares que emulan las funciones de los circuitos electrónicos.

En su mayoría generan y procesan el sonido de forma digital, convirtiéndolo en su etapa final en un sonido analógico.

Para considerar un sintetizador como tal, la generación del sonido debe de ser mediante osciladores controlados por tensión (VCO) u osciladores controlados digitalmente (DCO).

La síntesis de sonido está basada en sistemas electrónicos que producen una señal sonora mediante una corriente alterna, o un vector numérico en el caso de sistemas digitales, que son repetidas de manera periódica a una frecuencia audible para el ser humano. Según esta definición podemos distinguir en tres grupos:

- Síntesis lineal. Basada en operaciones lineales como suma, resta, multiplicación, filtros lineales, etc. Realizan operaciones sobre señales, siendo capaces de alterar amplitudes, frecuencias y fases de dicha señal. No son capaces de añadir nuevos armónicos en el espectro de dicha señal. Son poco eficientes. Un ejemplo de ellas son síntesis sustractiva, aditiva, concatenativa, etc.
- Síntesis no lineal. Fundamentada en cálculos no lineales en una la señal, como modulaciones o moldeado por medio de funciones de transferencia. Este método es capaz de añadir nuevos armónicos en el espectro de la señal. Son eficaces, pero menos intuitivas en su manejo. Un ejemplo de ellas son síntesis AM, FM, modulación en anillo, moldeado de ondas, etc.
- Síntesis computacional. Esta técnica está fundamentada en la capacidad de los ordenadores para realizar cálculos matemáticos anteriormente programados. Pueden ser síntesis por modelos físicos, síntesis granular, etc.

## 1.2 Los primeros sintetizadores

Los primeros intentos en síntesis se efectuaron en la década de 1950 en universidades como RCA o Bell Telephone, donde la finalidad inicial era la creación de osciladores controlados por tensión, pudiendo controlar la frecuencia con la que giraba el oscilador, la altura del sonido emitido y la amplitud del mismo. La agregación de filtros permitió la coloración y preparación final de la señal.

Por otro lado, la comercialización de dichos componentes tardaría en comercializarse debido a su gran tamaño, a su poca fiabilidad en cuanto a entonación y funcionamiento.

A la mitad de los 1950 RCA apareció la primera maqueta, el MkII, fundamentado en la generación de determinadas formas de ondas esenciales mediante repetición que posteriormente eran filtradas y amplificadas. Estaba formado por 24 osciladores, filtros, amplificadores, generador de envolventes y de ruido. Este artefacto fue experimental, ya que no tenía potencial de venta debido a su gran envergadura.



**Figura 1.1:** El RCA MkII fue el primer prototipo de sintetizador (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 169).

La aparición de este artefacto marcó un antes y un después en la historia de la síntesis. El punto de inflexión lo marco el físico Robert Moog que en el año 1950 comenzó a construir Theremines y posteriormente sus propios componentes. Utilizando las ideas en las que se basaba el MKII construyó sintetizadores modulares especialmente diseñados para sus clientes. Eran artefactos muy complejos los cuales se veían más como una central telefónica que un instrumento musical.



**Figura 1. 2:** El sintetizador Moog 55 de 1971 (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 169).

Finalmente, en el verano de 1970 llegó al mercado una versión más comercial llamado Minimoog. En un principio no tubo demasiadas ventas, pero después de aparecer en discos muy famosos de la época remonto sus ventas de forma considerable. Este dispositivo podía hacer sonar una única nota musical, y estaba formado por tres osciladores desafinados entre sí. Pertenecía a la familia de síntesis modular.



**Figura 1. 3:** El Minimoog, primer sintetizador comercial de 1970 (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 170).

De forma paralela apareció en escena el VCS3 de la compañía E.M.S, el cual tenía una afinación muy inestable y carecía de teclado por lo que era manejado por medio de una palanca.



**Figura 1. 4:** El VCS3 de E.M.S. 1969 (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 170).

Otros dispositivos que aparecieron en el mercado de los sintetizadores fueron el Odyssey o el 2600 de ARP, Roland SH-3, Korg mini 700S o Yamaha SY1.

## 1.3 Elementos comunes de la síntesis

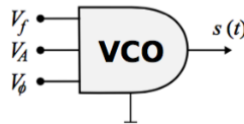
### 1.3.1 Oscilador controlado por tensión

La síntesis está basada en un oscilador controlado por tensión o VCO (voltage controlled oscillator). La idea principal radica en que cada tecla del teclado funciona como un conmutador que al ser presionado mandaba un voltaje al oscilador que vibraba a una frecuencia correspondiente a la tecla presionada. La manera más general de realizar ese



control es de manera logarítmica. De esta forma, si se produce un incremento de 1 voltio, se produce un incremento de una octava en la altura de la nota.

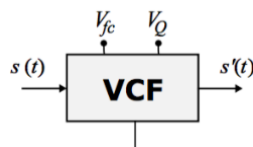
Para controlar el VCO se utilizan tensiones continuas, que como se muestra en la figura 1.5 dependerá de tres parámetros.  $V_f$  para manejar la frecuencia fundamental de la onda generada,  $V_A$  manejará la amplitud de dicha onda y  $V_\phi$  para manejar la fase inicial.



**Figura 1. 5:** Oscilador controlado por tensión (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 175).

### 1.3.2 Filtro controlado por tensión

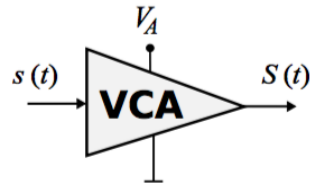
La salida de un oscilador controlado por voltaje suele conectarse a un VCF (voltage controlled filter) que filtra los armónicos de la señal que genera el VCO de múltiples formas, paso-bajo, paso-alto, paso-banda, etc. Los parámetros que se pueden manejar con este sistema son la frecuencia de corte  $f_c$  (con  $V_{fc}$ ), el ancho de banda (con  $V_Q$ ), resonancia, etc. La resonancia se suele situar cerca de la frecuencia de corte del filtro paso-bajo, manejando así la altura del pico de ganancia positiva. Otra opción sería que la resonancia se sitúe cerca de la frecuencia central en un filtro paso-banda, donde aparece de manera natural cuando  $Q$  de dicho filtro es muy grande. Sucede cuando el filtro es reducido y puntiagudo.



**Figura 1. 6:** Filtro controlado por tensión (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 175).

### 1.3.3 Amplificador controlado por tensión

La función del VCA (voltage controlled amplifier) consiste en manejar el nivel de salida de la señal, amplificando la amplitud de la señal que recibe acorde a su ganancia. Es manejada por una tensión. Cuando el amplificador es de calidad no debe de cambiar el timbre. Por otro lado tiene el objetivo de introducir de modulaciones en volumen.



**Figura 1. 7:** Amplificador controlado por tensión (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 175).

### 1.3.4 Oscilador de baja frecuencia LFO

El oscilador de baja frecuencia (Low frequency oscillator o LFO) son iguales a los VCO con la diferencia de que la señal generada es de baja frecuencia. En síntesis, se considera baja frecuencia cuando la señal es inferior a 20 Hz. Se suele utilizar para la modulación de una señal. Los parámetros en los que trabaja están entre 0,1 y 10 Hz. Esta frecuencia se conoce como “velocidad de modulación” y su amplitud “profundidad”.

Dicha señal puede controlar todas las partes de un sintetizador. Si modulan la tensión de control de la ganancia del amplificador obtenemos un “trémolo”.



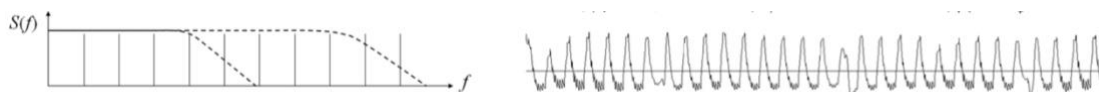
**Figura 1. 8:** Modulación de amplitud, trémolo (izquierda) y forma de onda (derecha) (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 177).

Si la señal actúa sobre el voltaje de control de los osciladores generan variaciones periódicas en la altura, produciendo un “vibrato”.



**Figura 1. 9:** Modulación en frecuencia, vibrato (izquierda), y forma de onda (derecha) (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 177).

Cuando actúa sobre algún parámetro de los filtros obtenemos cambios periódicos en los timbres. La señal tendrá componentes en alta frecuencia que se muestran y ocultan de manera regular.



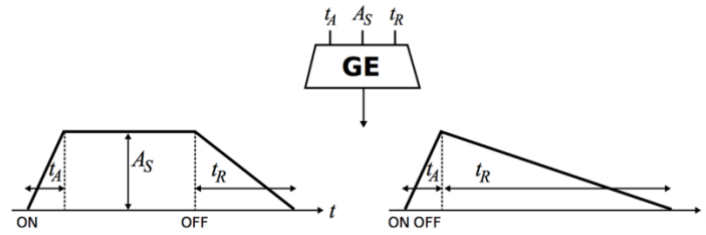
**Figura 1. 10:** Modulación en frecuencia de corte (izquierda), y forma de onda (derecha) (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 177).

Los LFO producen estructuras de onda sintéticas de patrón sinusoidal, cuadrada, diente de sierra, triangular, etc.

### 1.3.5 Generadores de envolvente

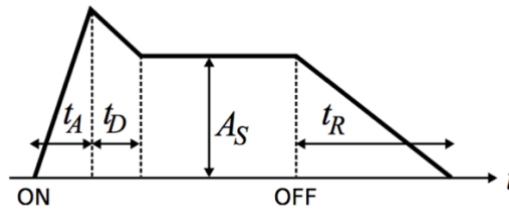
La envolvente temporal de una onda es la curva que traza el cambio de su amplitud en el tiempo. Suministrando distintas envolventes sobre una onda podemos conseguir un sonido percusivo por medio de un ataque rápido. Por otro lado, podemos conseguir sonidos propios de una cuerda frotada aplicando un ataque más lento. Habitualmente una nota comienza con un volumen igual a cero, aumentando hasta un valor límite y, tras una posible fase constante, va en decadencia hasta desvanecer.

La envolvente más familiar son del tipo ASR (ataque, sostenimiento y relajación). El ataque y el sostenimiento se emplean en el tiempo en el que la nota está activa. La relajación empieza cuando la nota se desconecta. La figura de esta envolvente se puede cambiar en triangular por medio de la administración conveniente de los tiempos de ataque y relajación. Si  $t_A + t_R = \text{duración}$ , no hay fase estable y se cambiaría en una de tipo AR (figura 1.11, derecha).



**Figura 1. 11:** Esquema de generador de envolvente ASR. Con fase estable (izquierda), sin ella (curva AR, derecha) (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 178).

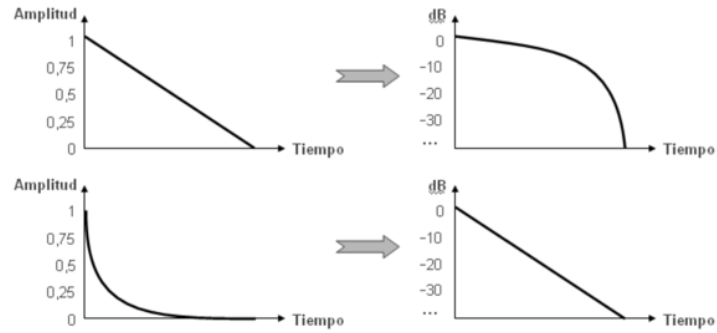
La envolvente más empleada en síntesis es el tipo ADSR, que añade un nuevo parámetro de los tres anteriores del ASR, y es el tiempo de caída (decay,  $t_D$ ). Es conocido como el tiempo en el que la nota llega a su máxima amplitud hasta que se vuelve estable.



**Figura 1. 12:** Forma general de envolvente tipo ADSR (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 178).

Se intenta evitar cambios rápidos en las envolventes, ya que pueden generar ruidos. Se busca evitar cambios verticales en el diseño de la curva de la envolvente, en especial al principio y fin de las notas ( $t_A$  o  $t_R = 0$ ) ya que se producirían “clicks” en el inicio y fin de las mismas.

Los segmentos más manejados son rectilíneos o exponenciales. Los rectilíneos provocan sonoridades logarítmicas. Por otro lado, las exponenciales incitan sonoridades lineales.



**Figura 1. 13:** Curvas típicas de envolventes (izquierda, amplitud normalizada, derecha, equivalentes en dB) (véase *Síntesis Digital de Sonido* 2016, p. 179).

Los generadores de envolventes producen señales de control con la potestad de alterar a todos los sistemas del sintetizador.

### 1.3.6 Tipos de señal

Hay dos tipos de señales en la síntesis, las unipolares y las bipolares.

Las señales unipolares pueden cambiar en una única fracción del rango de amplitudes. Pueden ser continuamente positivas o nulas, o continuamente negativas o nulas.

Las señales bipolares adquieren valores positivos y negativos, pudiendo ser señales periódicas y suelen estar limitadas entre +1 y -1 voltios para posteriormente poder cambiar al límite ansiado.



## 2. Objetivos

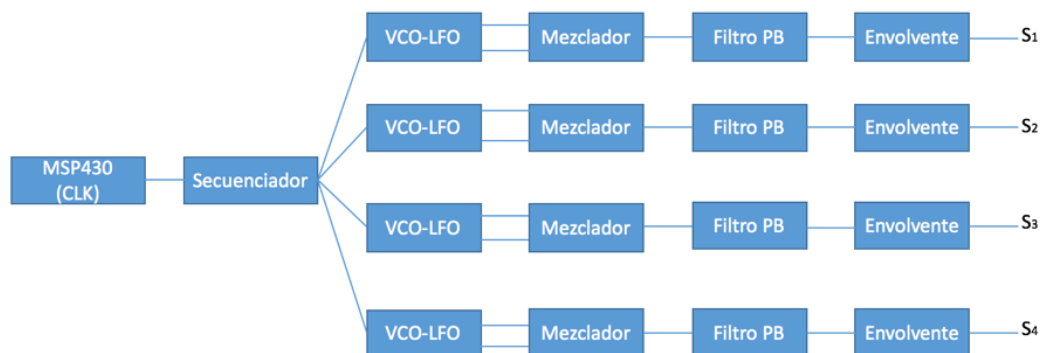
El objetivo fundamental de este proyecto es el diseño e implementación de una caja de ritmos analógica. Constará de cuatro voces, siendo capaz de generar cuatro sonidos percusivos a la vez.

Para ello vamos a hacer uso de un programa de simulación llamado PROTEUS, en el que se implementarán cada uno de los sistemas necesarios que compondrán la caja de ritmos.

Es importante destacar que para la implementación de una caja de ritmos analógica las señales serán generadas por un oscilador controlado por voltaje (VCO).

Los sistemas que vamos a construir serán:

- Sistema de secuenciación.
- Sistema de control de velocidad bpm (MSP430)
- Sistema de generación de señal VCO-LFO.
- Sistema de mezclado de señales
- Sistema de filtrado
- Sistema de envolvente.



**Figura 2. 14:** Diagrama de bloques “*elaboración propia*”.

## **2.1 Sistema de secuenciación**

El sistema de secuenciación tendrá como objetivo la generación de señales que marcarán los tiempos en los que los osciladores serán activados.

El parámetro de entrada de este sistema será una señal de reloj que marcara los tiempos en los que se activaran los osciladores en cada una de las cuatro voces que lo componen.

El secuenciador será de 8 tiempos y tendrá cuatro señales diferentes que corresponden con las cuatro voces. Como resultado, este sistema tendrá cuatro salidas, las cuales serán enviadas al sistema de generación de señal, donde activarán los osciladores de cada una de las 4 cuatro voces dependiendo de los pines almacenados en los registros.

## **2.2 Sistema de control de velocidad en bpm (MSP430)**

El sistema de control de velocidad hará uso de un microcontrolador modelo MSP430G2553 de Texas Instrument con el que mediante un código va a generar una señal de reloj de 120 bombos por minuto, o lo que es lo mismo, una señal de reloj con una frecuencia de 2 Hz. Dicha señal será utilizada como entrada por el sistema de secuenciación.

## **2.3 Sistema de generación de señal VCO-LFO**

Este sistema será el encargado de generar una señal cuadrada formada por los dos osciladores que dependerán de una tensión de entrada. Dicha señal de entrada vendrá del sistema de secuenciación.

Como resultado tendremos dos señales en la salida, la señal generada por el VCO, que podrá tener una frecuencia igual o superior a 20 Hz, y la señal generada por el LFO que será inferior a 20 Hz. Dicha configuración se repetirá cuatro veces, ya que el instrumento consta de cuatro voces.

## **2.4 Sistema de mezclado**



El sistema de mezclado tendrá dos líneas de entrada que corresponderán a la salida del VCO y LFO respectivamente. La señal resultante será la línea de salida de dicho sistema.

En este caso también, la configuración también se va a repetir cuatro veces, correspondiendo así a las cuatro voces del instrumento.

## **2.5 Sistema de filtrado**

El sistema de filtrado será el encargado de acotar el espectro de las señales. Será un filtro paso-bajo de primer orden. La señal resultante será la entrada del sistema de envolvente.

Este sistema se repetirá cuatro veces al igual que los dos sistemas anteriores.

## **2.6 Sistema de envolvente**

El sistema de envolvente será el encargado de limitar el tiempo de duración de las señales generadas por la suma de los VCO y LFO. Este sistema estará dominado por dos potenciómetros que modificarán el tiempo de ataque y el tiempo de relajación.

Este sistema también se repetirá cuatro veces como los tres sistemas anteriores, correspondiendo así a las cuatro voces del instrumento.



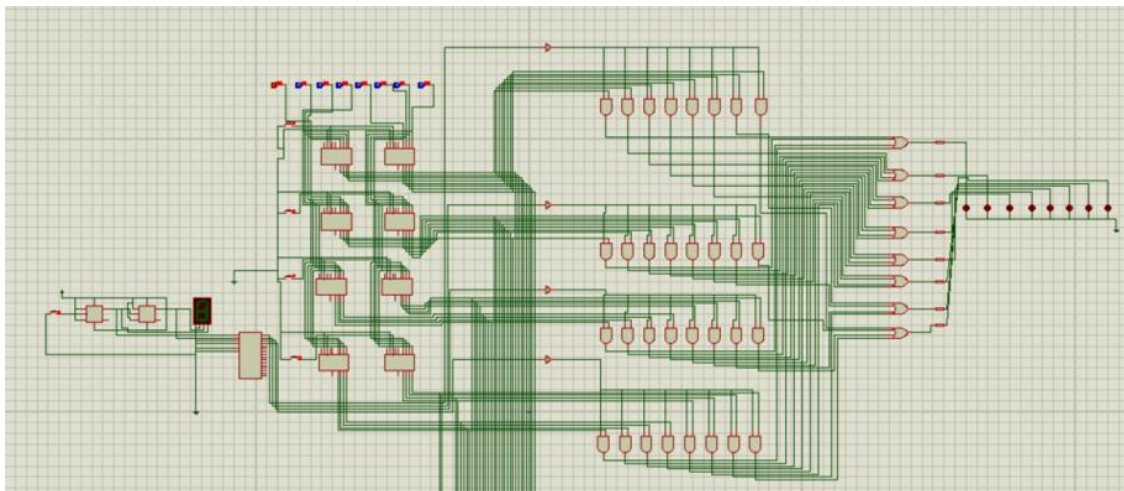
## 3. Materiales y métodos

En este apartado vamos a hacer una descripción más profunda de cada sistema, indicando que componentes y configuraciones se han utilizado para conseguir los objetivos en cada caso.

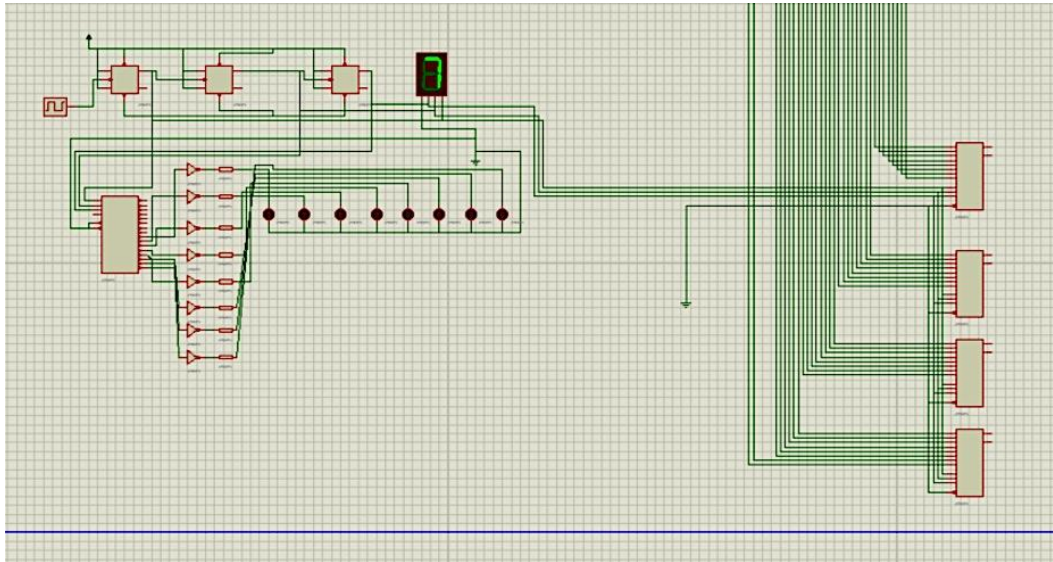
### 3.1 Sistema de secuenciación

Este sistema está dividido en varios subsistemas que son:

- Subsistema de conteo de tiempos
- Subsistema de visualización y carga
- Subsistema de selección de datos



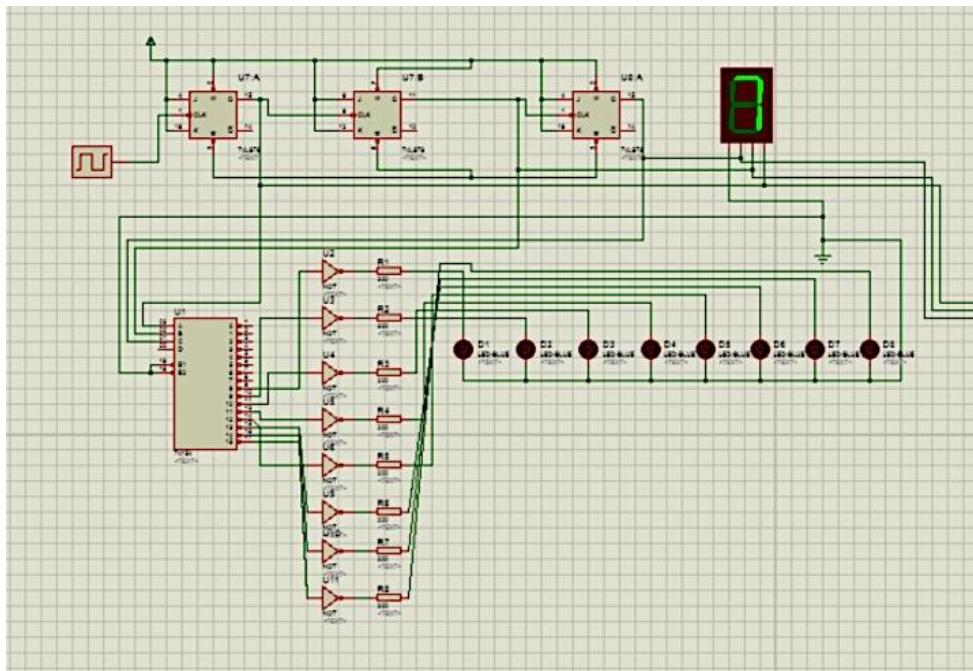
**Figura 3. 15:** Imagen de sistema de secuenciación 1 “*elaboración propia*”.



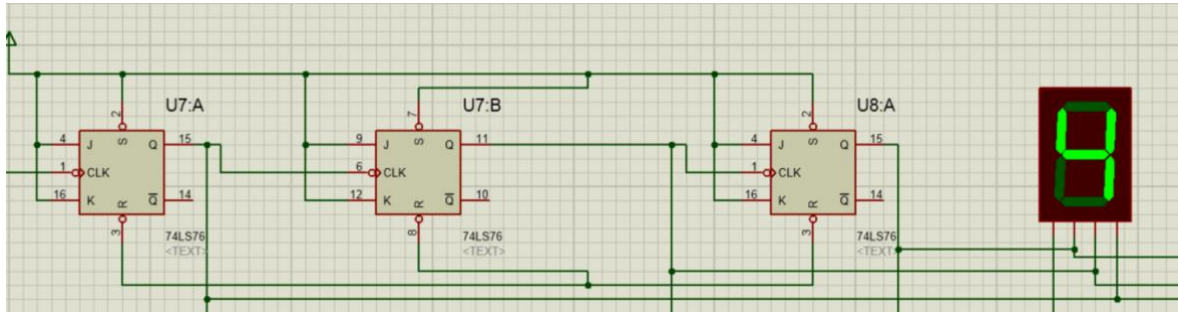
**Figura 3. 16:** Imagen de sistema de secuenciación 2 “*elaboración propia*”.

### 3.1.1 Subsistema de conteo de tiempos

Este subsistema se encargará de contar 8 tiempos en base a una señal de reloj que vendrá del sistema de control. La misión es indicar al usuario en que tiempo se encuentra el secuenciador, iluminando en cada paso el led correspondiente.

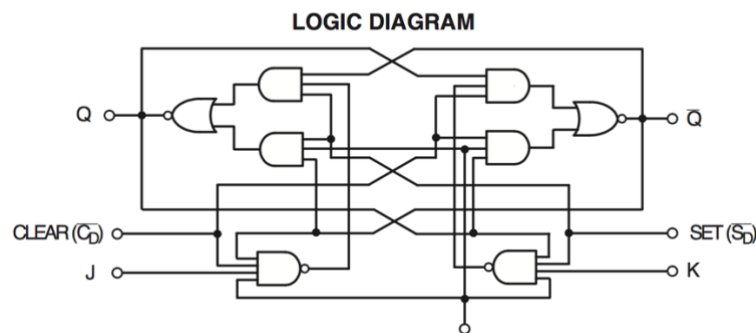


**Figura 3. 17:** Imagen de subsistema de conteo de tiempos “*elaboración propia*”.



**Figura 3. 18:** Configuración asíncrona de los biestables JK modelo 74LS76 “*elaboración propia*”.

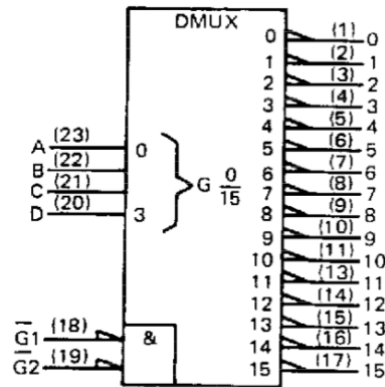
Para el conteo de los 8 tiempos se ha diseñado un contador asíncrono compuesto de 3 biestables JK modelo 74LS76 (figura 3.18) configurados como se muestran en la figura 3.18 para conseguir dicho objetivo. Se denominan contador asíncrono ya que cada uno de los biestables tienen distintas señales de reloj. Según podemos ver en la tabla 1, cuando las entradas JK tienen valor 1, y las entradas  $S_D$  y  $S_C$  también tienen valor 1, el biestable está configurado en modo basculación, lo que significa que en cada flanco de bajada de la señal de reloj la salida Q cambiara su valor de 0 a 1 consecutivamente.



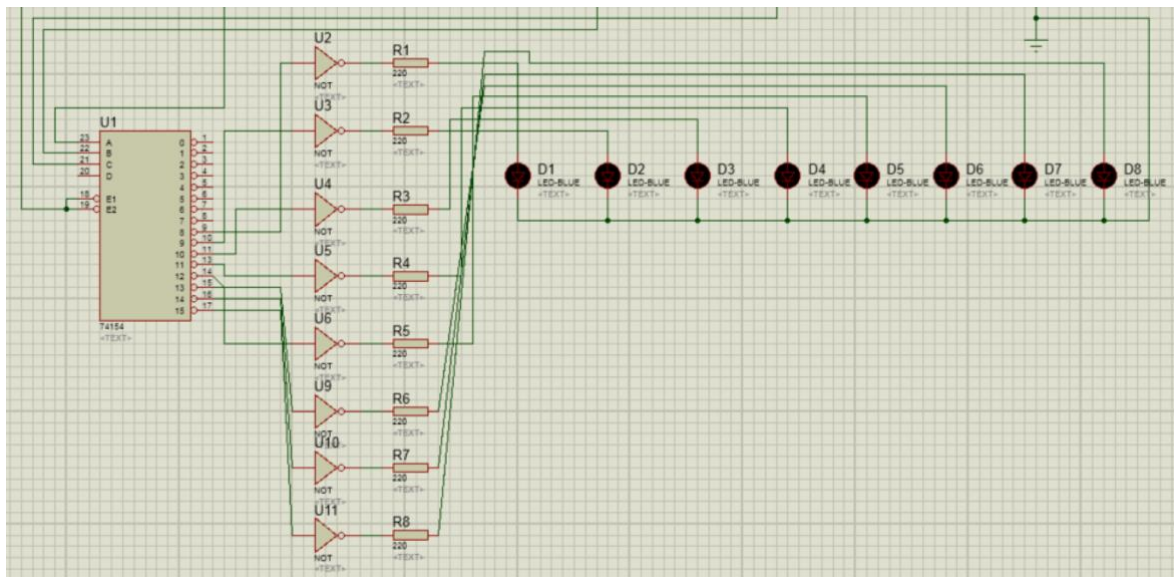
**Figura 3. 19:** Diagrama lógico del biestable JK modelo 74LS76 (véase *datasheet 74LS76*, p. 2).

OPERATING MODE	INPUTS				OUTPUTS	
	$\bar{S}_D$	$\bar{C}_D$	J	K	Q	$\bar{Q}$
Set	L	H	X	X	H	L
Reset (Clear)	H	L	X	X	L	H
*Undetermined	L	L	X	X	H	H
Toggle	H	H	h	h	$\bar{q}$	q
Load "0" (Reset)	H	H	l	h	L	H
Load "1" (Set)	H	H	h	l	H	L
Hold	H	H	l	l	q	$\bar{q}$

**Tabla 1:** Tabla de la verdad del biestable JK modelo 74LS76 (véase *datasheet 74LS76*, p. 1).



**Figura 3. 20:** Diagrama de conexiones del demultiplexor modelo 74154 (véase *datasheet 74154*, p. 1).



**Figura 3. 21:** configuración del demultiplexor modelo 74154 para la iluminación de los 8 LED en cada estado de tiempo “*elaboración propia*”.

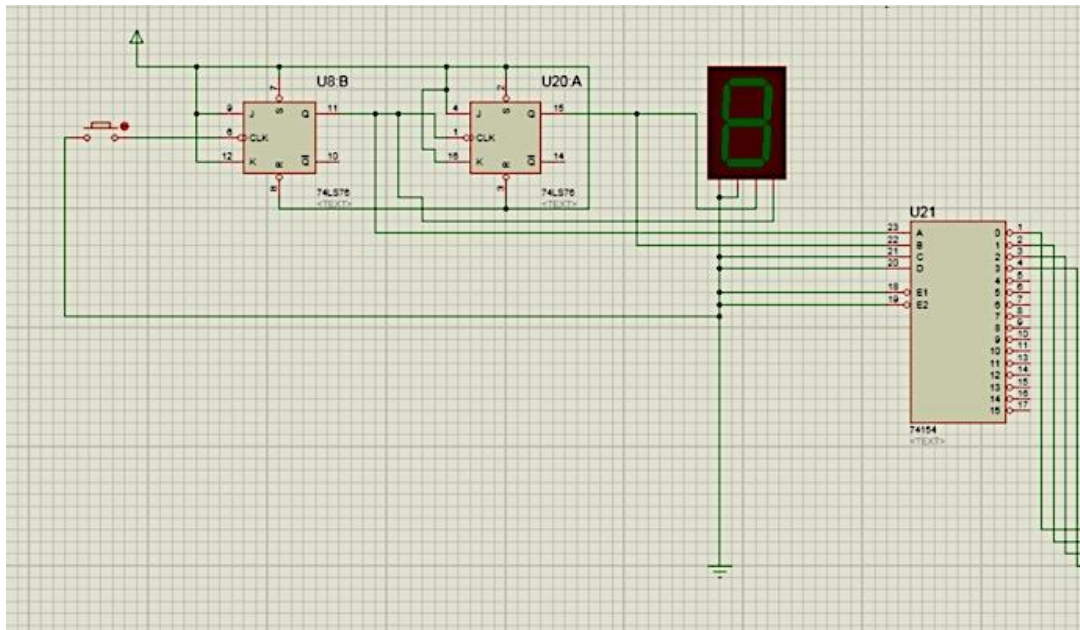
Otro aspecto importante es la protección de los leds, por lo que hemos colocado una resistencia a la entrada de cada uno de ellos. El valor de dicha resistencia de  $200\ \Omega$  vendrá marcado por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$



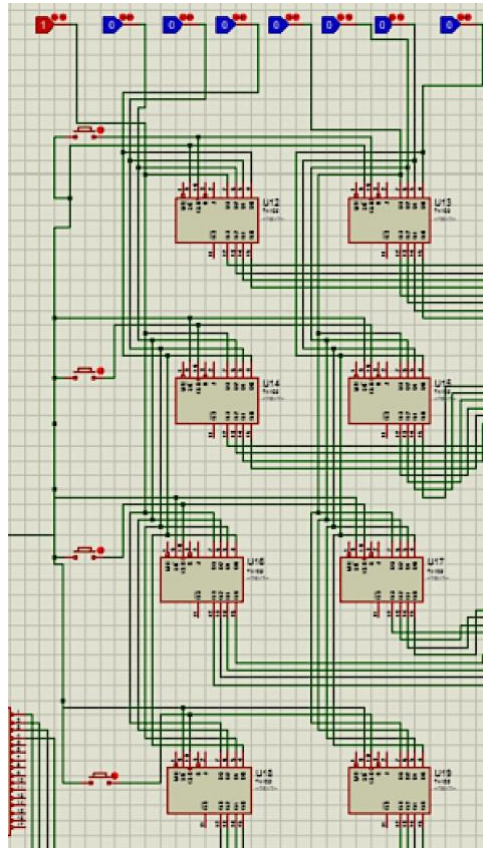
### 3.1.2 Subsistema de visualización y carga

Este subsistema cuenta con un contador de 4 estados, correspondientes a las cuatro voces que componen la caja de ritmos. Se ha utilizado el mismo modelo y la misma configuración que en el subsistema anterior, con la diferencia de que solo usa 2 biestables ya que este contador solo contabiliza cuatro estados, correspondientes a las cuatro voces. Mediante un botón podremos visualizar en los LED que tiempos están activos y cuáles no.



**Figura 3. 22:** Imagen de contador de cuatro estados “*elaboración propia*”.

Para saber que voz se está visualizando se ha utilizado un led de 7 segmentos. El encargado de enviar la información a los LED es un multiplexor del mismo modelo del anterior sistema. También se ha hecho uso de la ecuación para el cálculo de las resistencias. En este subsistema también se ha diseñado una memoria para almacenar los valores de cada voz.

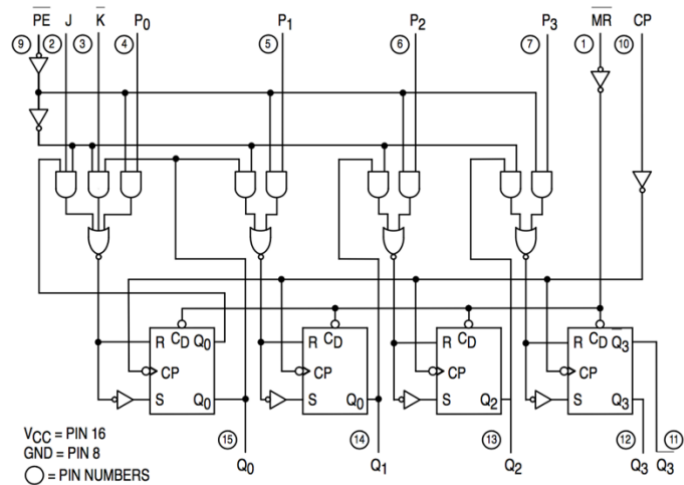


**Figura 3. 23:** Imagen de memoria mediante registros “*elaboración propia*”.

En este caso se ha usado 8 botones. El usuario seleccionará que tiempos quiere activar, y para almacenar dichos datos simplemente tendrá que pulsar un botón que se encuentra a la izquierda de cada memoria.

Dicha memoria se ha diseñado con registros de desplazamiento JK modelo 74195 (figura 3.24). Para cada voz se ha utilizado dos registros (figura 3.23), y su configuración es de forma paralela según se muestra en la tabla 2, de tal manera que cuando pulsamos el botón, dejará pasar los bits de entrada de cada uno de los 8 botones a la salida.



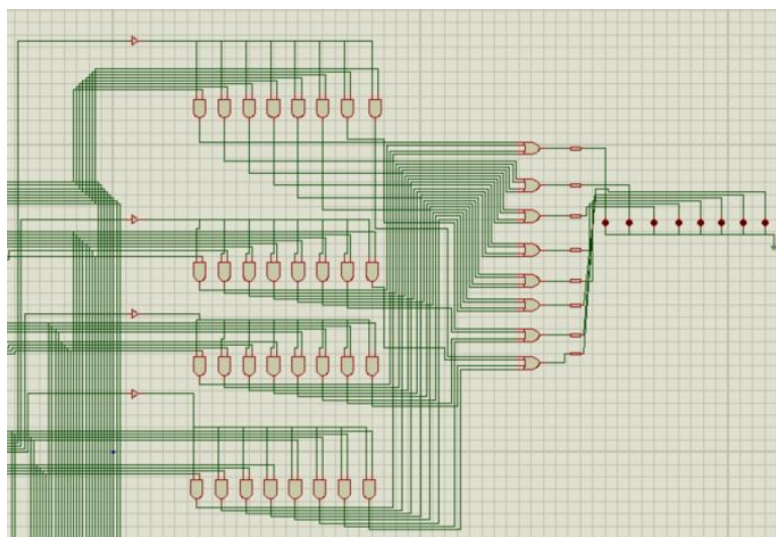


**Figura 3. 24:** Diagrama lógico del registro de desplazamiento modelo 74195 (véase datassheet 74195, p. 2).

OPERATING MODES	INPUTS					OUTPUTS				
	MR	PE	J	K	P <sub>n</sub>	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub>
Asynchronous Reset	L	X	X	X	X	L	L	L	L	H
Shift, Set First Stage	H	h	h	h	X	H	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>2</sub>
Shift, Reset First	H	h	l	l	X	<u>L</u>	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>2</sub>
Shift, Toggle First Stage	H	h	h	l	X	q <sub>0</sub>	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>2</sub>
Shift, Retain First Stage	H	h	l	h	X	q <sub>0</sub>	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>2</sub>
Parallel Load	H	l	X	X	p <sub>n</sub>	p <sub>0</sub>	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>3</sub>

**Tabla 2.:** Tabla de la verdad del registro de desplazamiento modelo 74195 (véase datassheet 74195, p. 2).

Este subsistema también se encarga de indicar al usuario que hay almacenado en cada una de las 4 voces, según el estado del contador de 4 tiempos.

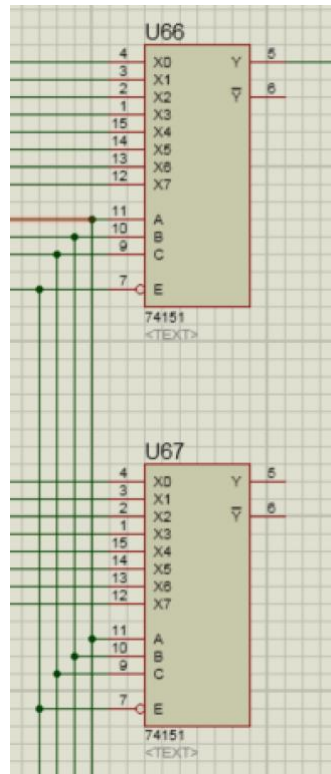


**Figura 3. 25:** Imagen del subsistema de visualización de registros *“elaboración propia”*.

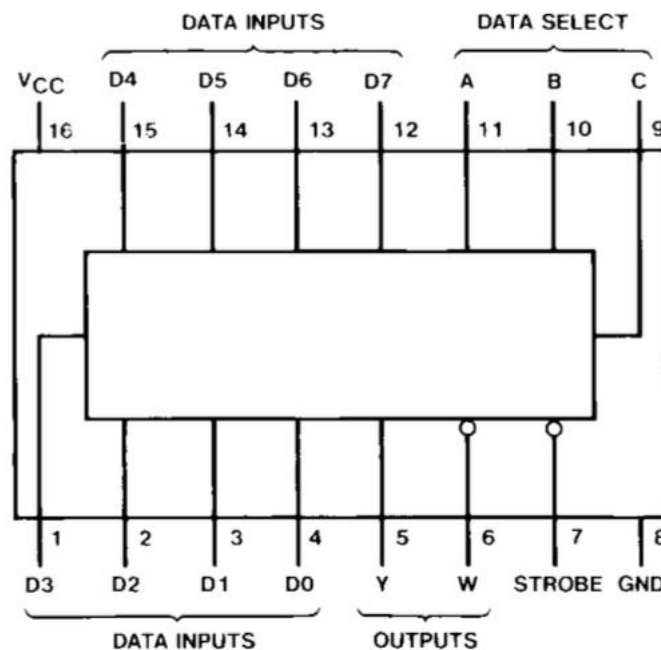
Según podemos ver en la figura 3.25, tenemos 8 leds que mostraran los tiempos activos para cada una de las voces. Las puertas AND tiene como entrada cada uno de los 8 bits de la memoria junto con el valor de selección del multiplexor, de manera que si esta seleccionada la voz 1, solo la primera línea de puertas AND estarán funcionando, ya que su valor será 1 (5 voltios) dejando así que pase cada valor del registro de 8 bits a su correspondiente LED.

El funcionamiento de las puertas OR es solo para simplificar el número de LED que vamos a utilizar, si no fuese así, tendríamos que usar 4 grupos de 8 LED, uno por cada voz. Si nos fijamos bien en la OR1 están conectados los 4 primeros bits de cada registro. Si alguno de los bits indicados tiene valor 1 (5 voltios) la salida será 1.

Por último, de este subsistema saldrán cuatro líneas correspondientes a cada voz, que serán enviadas a sistema de control. Cada una de ellas ira variando su valor entre 0 y 5 voltios, según la información almacenada en los registros. Para conseguir dicho objetivo se ha hecho uso de cuatro multiplexores modelo 74151(figura 3.27), los cuales constan cada uno de ellos de 8 entradas correspondientes a los 8 tiempos de cada voz, y una salida (figura 3.26).



**Figura 3. 26:** Imagen de dos de los cuatro multiplexores para salida de las señales de cada voz  
*“elaboración propia”*.



**Figura 3. 27:** Diagrama de conexiones del multiplexor modelo 74151 (véase datassheet 74151, p. 2).

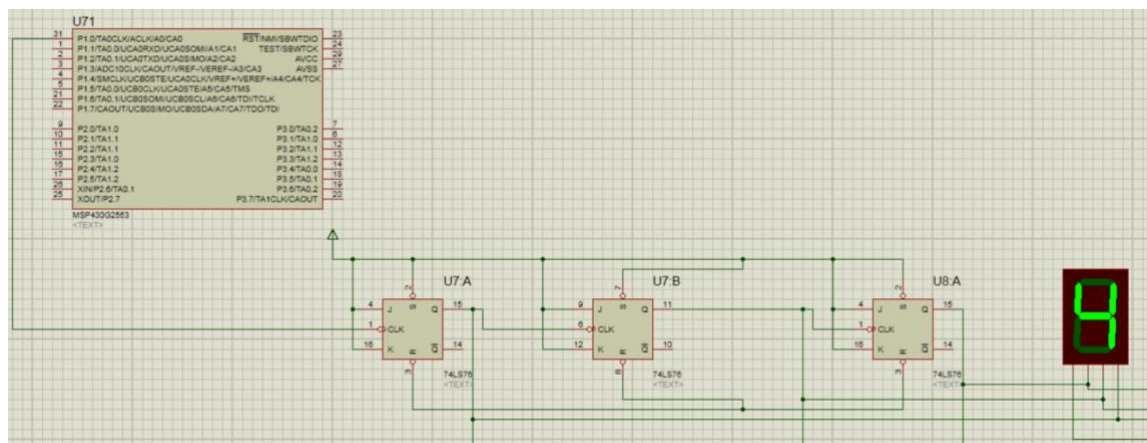
Para explicar de manera clara su funcionamiento, vamos a ver el caso para la voz 1. Cuando el registro uno tiene información almacenada, los 8 bits están conectados a la entrada

del demultiplexor, y según el estado en el que se encuentre el contador de 8 tiempos explicado en el subsistema de conteo de tiempos, ira dejando pasar cada uno de sus 8 bits almacenados, teniendo como resultado una línea que variará de 0 a 5 voltios según su registro.

Como resultado tendremos 4 líneas que serán las que marquen en qué momento se deben activar los osciladores.

## 3.2 Sistema de control de velocidad bpm (MSP430)

Este sistema será el encargado de proporcionar una señal de reloj al sistema de secuenciación. Según vemos en la figura 3.28, la salida del MSP430G2553 va conectada a la entrada del contador de 8 tiempos del sistema de secuenciación. Dicha salida tendrá la función de marcar el tiempo en el que el contador cambia de estado.



**Figura 3. 28:** Imagen de MSP430G2553 con la patilla P1.0 conectada como señal de reloj en el contador de 8 tiempos “*elaboración propia*”.

Para ello, hemos desarrollado un código capaz de generar una señal de reloj de 120 bpm.

```
#include <msp430.h>

int main(void)
{
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
    DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
    BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ;
    P1DIR |= 0x01;
    TA1CTL0 = CCIE;
    TA1CCR0 = 62500;
    TA1CTL = TASSEL_2 + ID_3 + MC_2;

    BIS_SR(LPM0_bits + GIE);
```

```

}

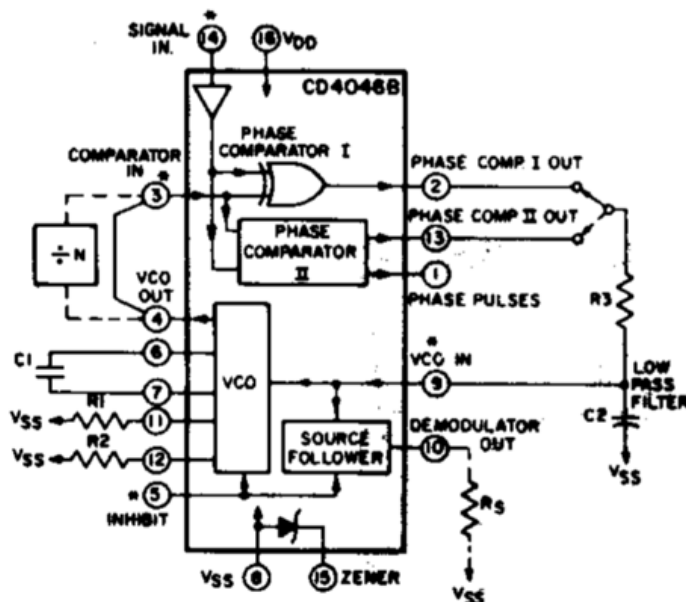
#pragma vector=TIMER1_A0_VECTOR
__interrupt void Timer_A0 (void)
{
    P1OUT ^= 0x01;
    TA1CCR0 += 62500;
}

```

En resumen, este código es capaz de generar una señal con un periodo de 0,5 segundos o 2 Hz, lo que supone 120 bombos por minuto o “bpm”. El método es sencillo, y consiste en llamar a la interrupción cada 0,5 segundos.

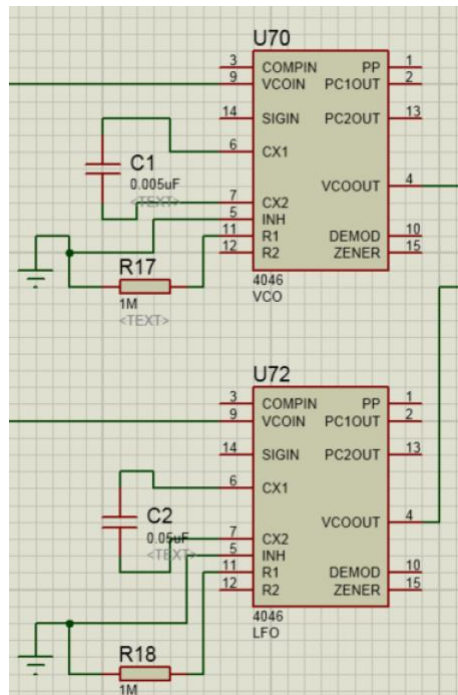
### 3.3 Sistema de generación de señal

Para la generación de las señales hemos utilizado un CI modelo CD4046b (figura 3.29) tanto para el VCO como para el LFO.



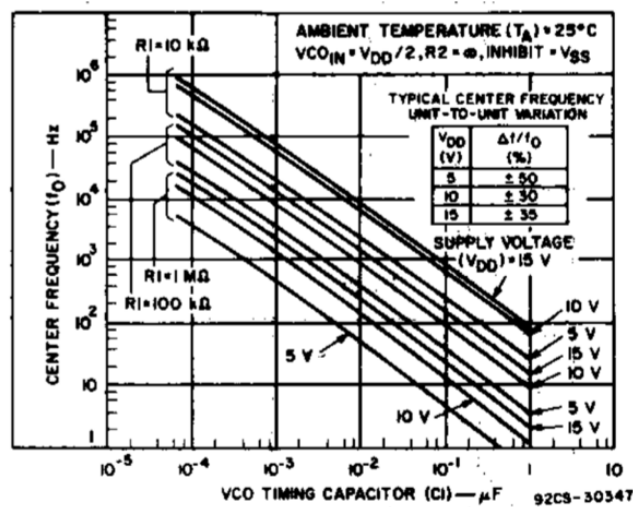
**Figura 3. 29:** Esquema de funcionamiento del VCO modelo CD4046b (véase datassheet CD4046b, p. 1).

La única diferencia radica en que el VCO aporta señales superiores a 20 Hz y el LFO aporta señales inferiores a 20 Hz.



**Figura 3. 30:** Imagen de VCO (U70) y LFO (U72) “*elaboración propia*”.

El CI U70 corresponde a un VCO, y el U72 corresponde a un LFO (figura 3.30). Las frecuencias de trabajo vendrán marcadas por los valores de los condensadores y las resistencias que están conectados en ellos. En la figura 3.31 mostramos la gráfica con los valores que deben tener para conseguir las frecuencias deseadas.

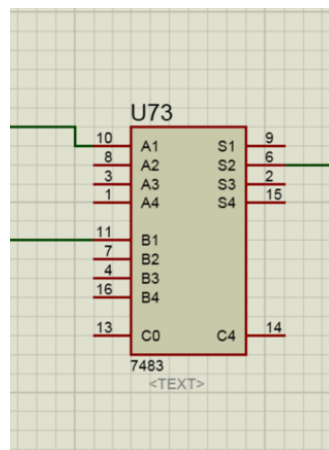


**Figura 3. 31:** Grafica de valores de condensadores para frecuencias de salida del CD4046b (véase datassheet CD4046b, p. 4).

Para ambos casos la resistencia tendrá un valor de 1 mega ohmio. En el condensador conectado al VCO su valor será de 0,005  $\mu\text{F}$  (80 Hz) mientras que para el caso del LFO el valor será de 0,05  $\mu\text{F}$  (8 Hz).

### 3.4 Sistema de mezclado

Este sistema se encarga de mezclar las señales que producen el VCO y el LFO en cada voz. El CI utilizado es un sumador modelo 7483 (figura 3.32). A la salida de dicho sumador se obtendrá la señal compuesta por el VCO y el LFO. La siguiente imagen muestra la suma de una de las cuatro voces que componen la caja de ritmos.



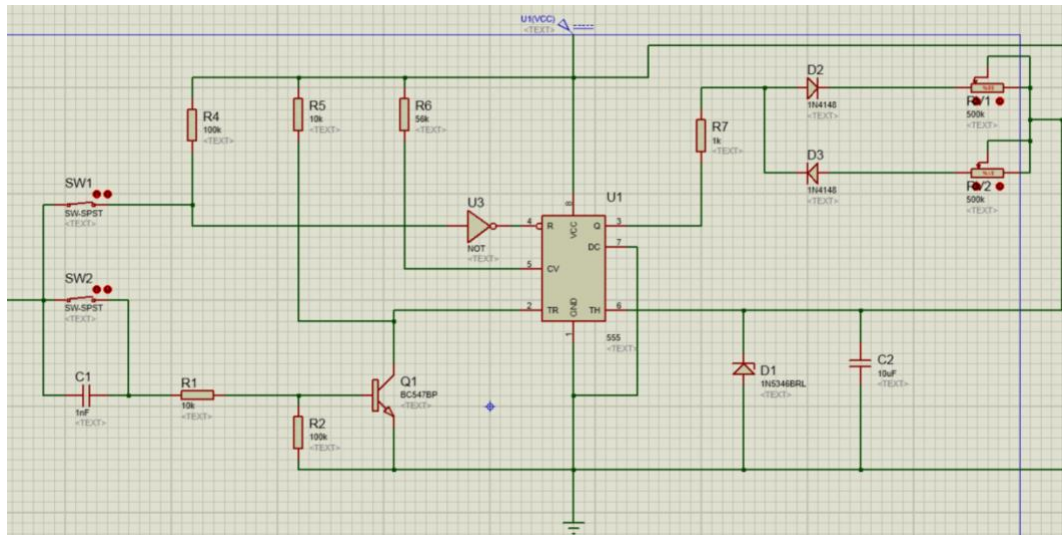
**Figura 3. 32:** Imagen correspondiente al sumador U73 modelo 7483 “*elaboración propia*”.

### 3.5 Sistema filtrado

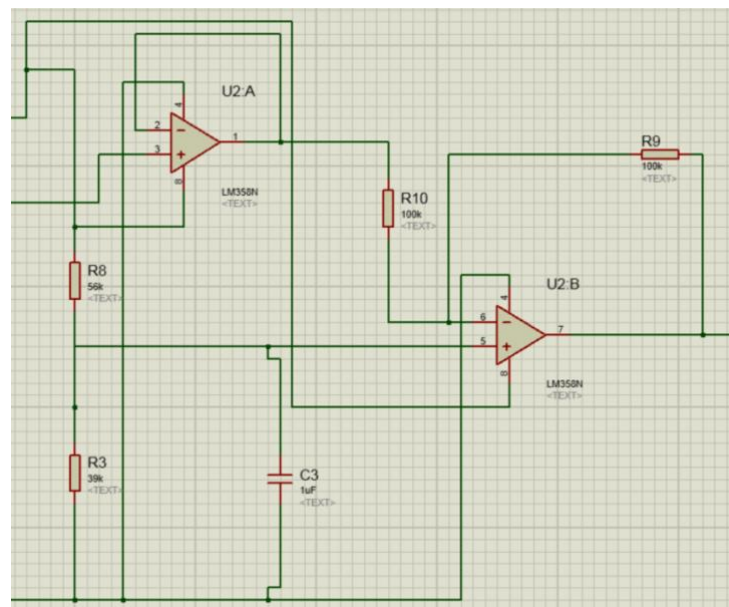
Este sistema será un filtro paso-bajo, encargado de filtrar la señal hasta una determinada frecuencia. En la figura 3.33 mostramos el circuito diseñado para esta función.







**Figura 3. 34:** Imagen 1 del generador de envolvente tipo AR “*elaboración propia*”.



**Figura 3. 35:** Imagen 2 del generador de envolvente tipo AR “*elaboración propia*”.

El circuito está basado en un CI 555 adaptado para conseguir modificar los tiempos de la señal de entrada que viene del filtro paso-bajo. En la figura 3.34 podemos ver que hay dos potenciómetros RV1 y RV2 encargados de modificar el tiempo de ataque y relajación en la señal.



## 4. Resultados

En este apartado vamos a mostrar los resultados de cada sistema mediante el osciloscopio que proporciona el software PROTEUS.

### 4.1 Sistema de secuenciación

#### 4.1.1 Subsistema de conteo de tiempos

A continuación, vamos a mostrar imágenes de los 8 estados posibles del contador que hemos diseñado.

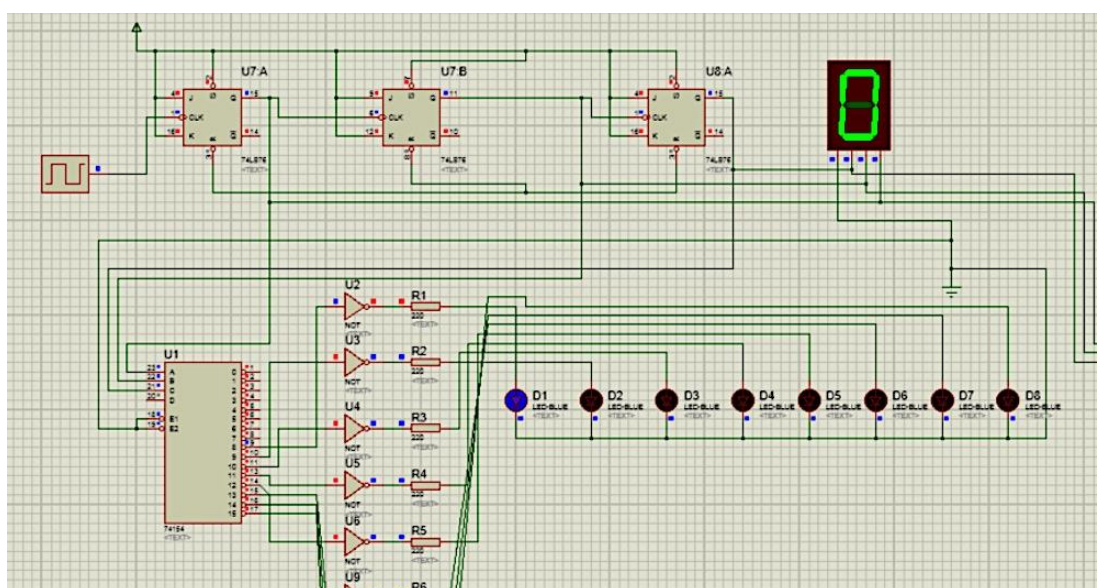
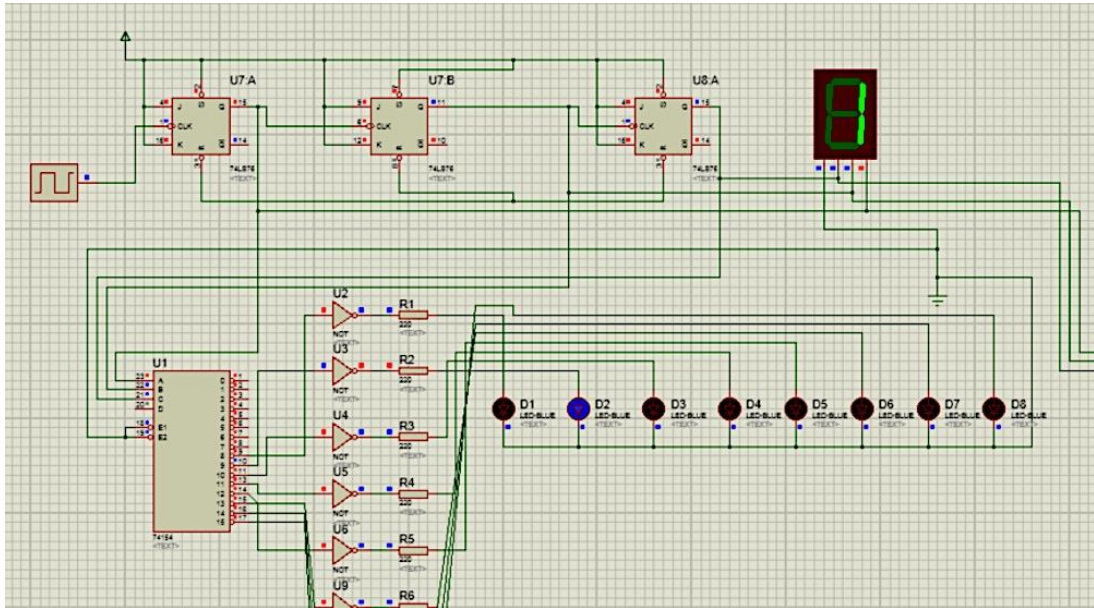
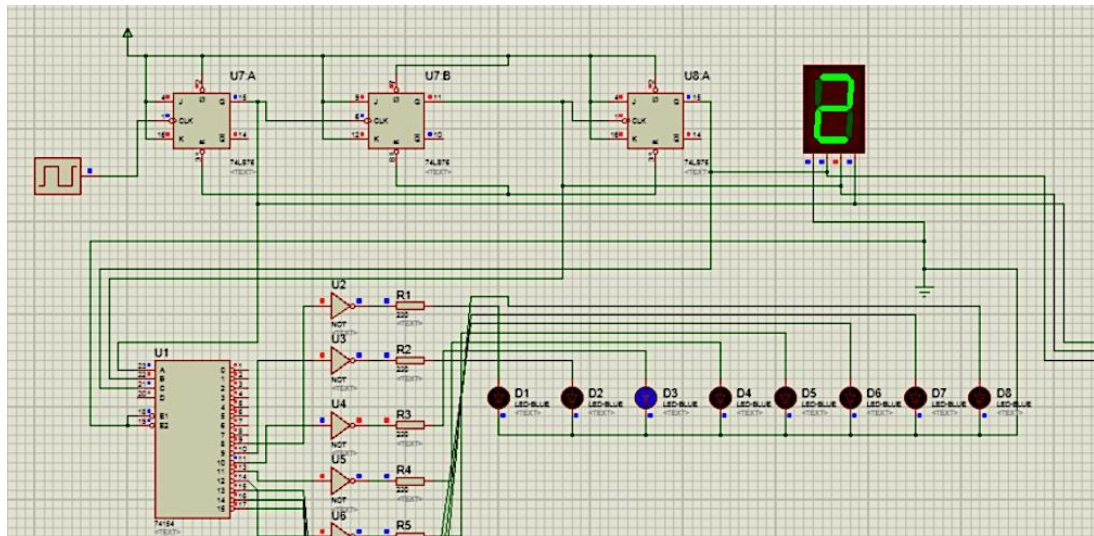


Figura 4. 36: Imagen del contador de 8 estados. Estado 1 “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 37:** Imagen del contador de 8 estados. Estado 2 “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 38:** Imagen del contador de 8 estados. Estado 3 “*elaboración propia*”.



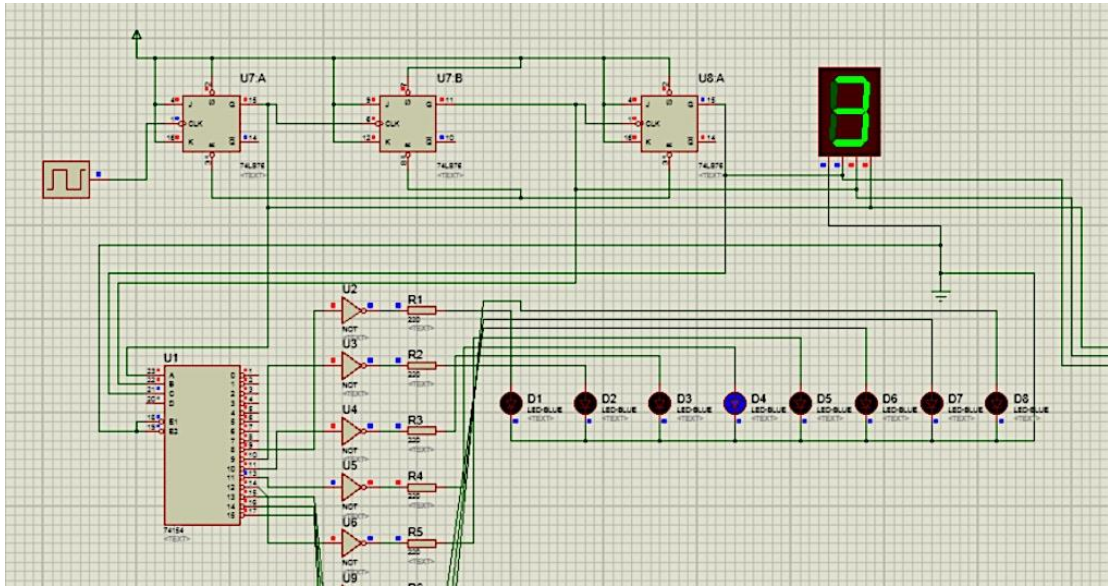


Figura 4. 39: Imagen del contador de 8 estados. Estado 4 “*elaboración propia*”.

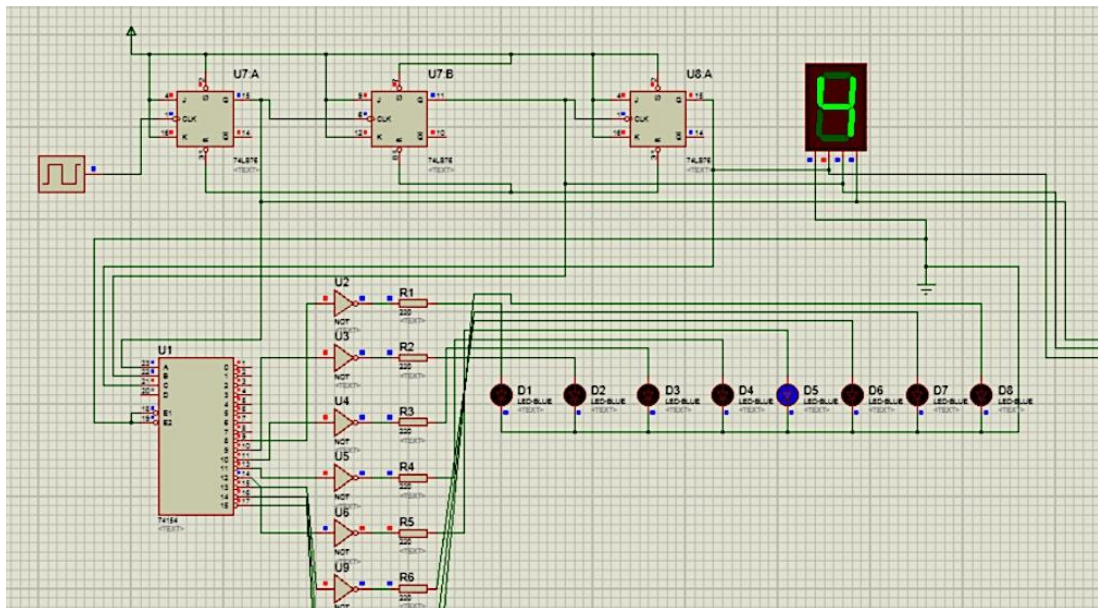
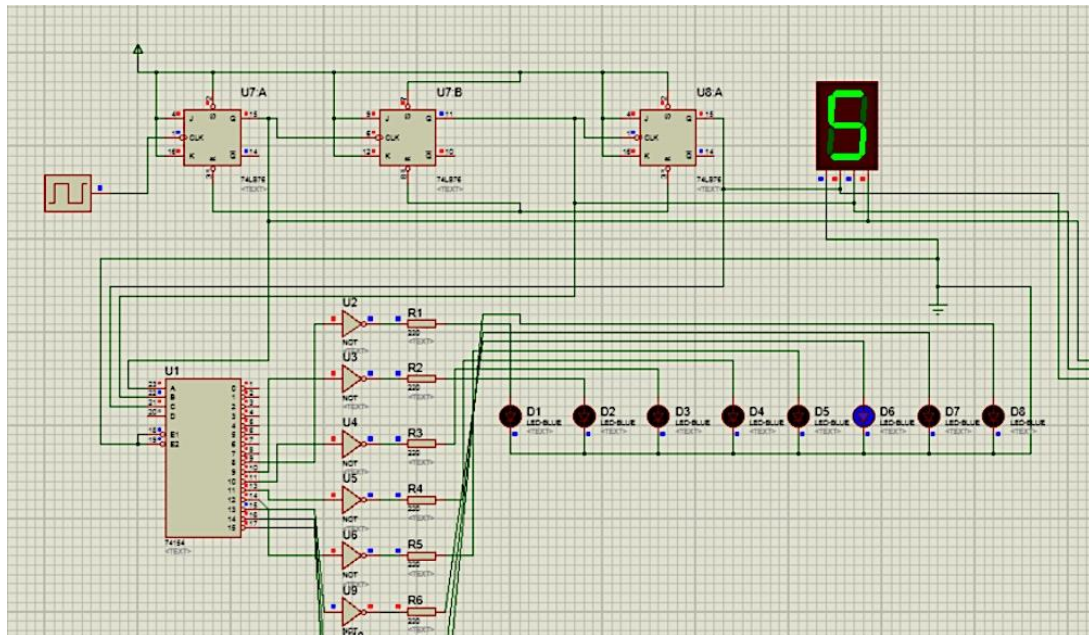
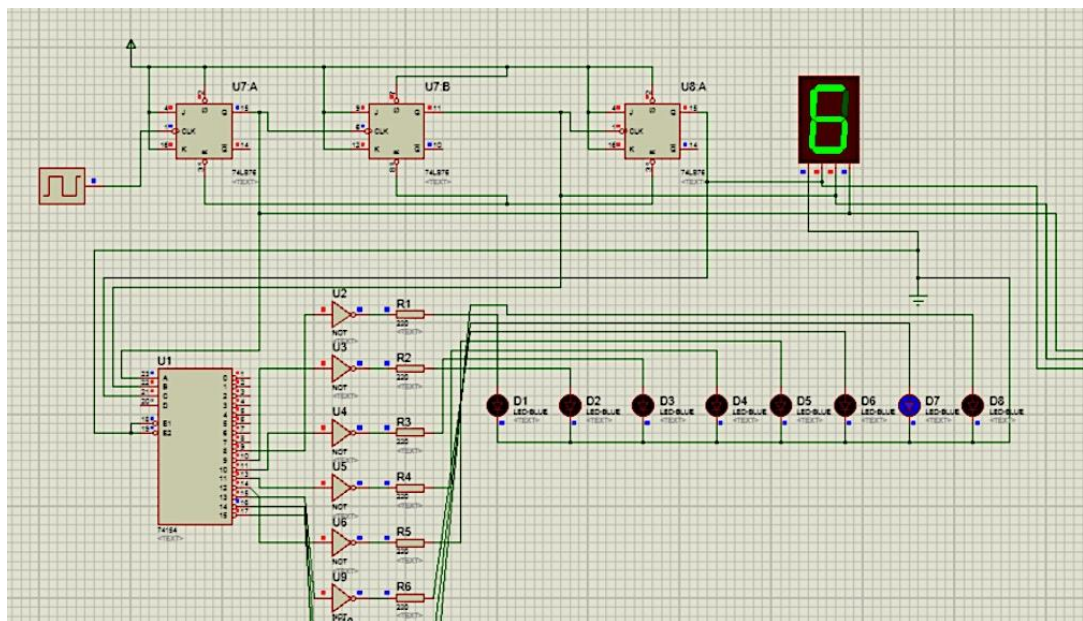


Figura 4. 40: Imagen del contador de 8 estados. Estado 5 “*elaboración propia*”.

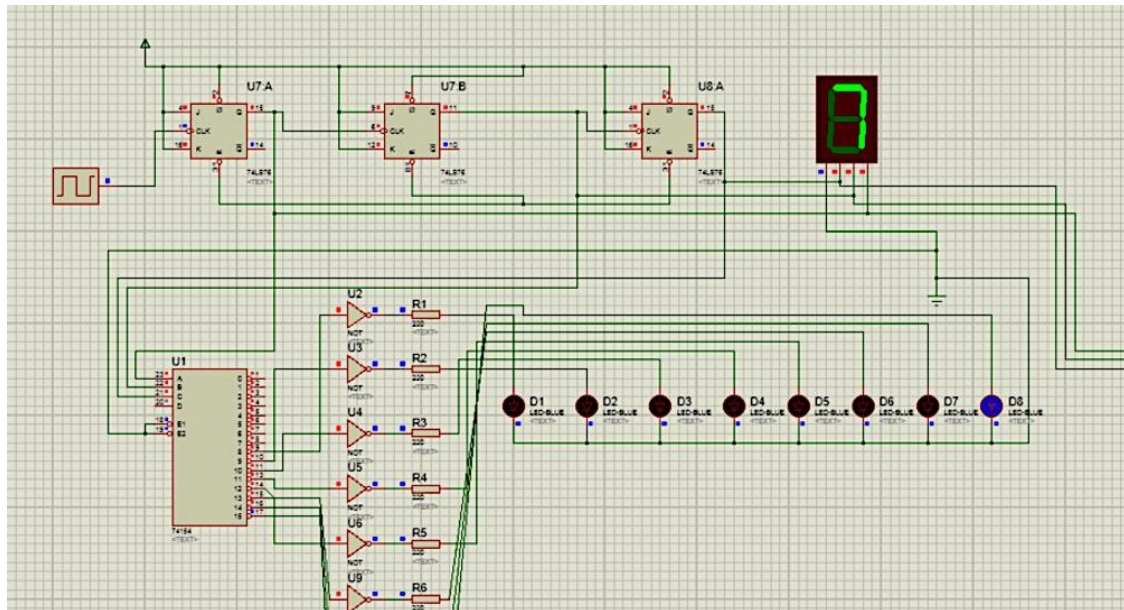


**Figura 4. 41:** Imagen del contador de 8 estados. Estado 6 “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 42:** Imagen del contador de 8 estados. Estado 7 “*elaboración propia*”.

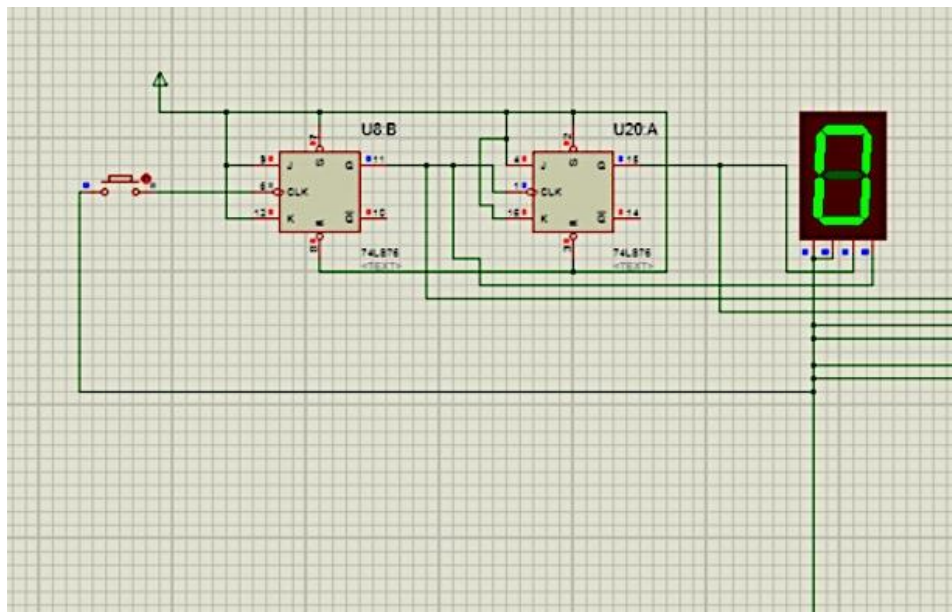




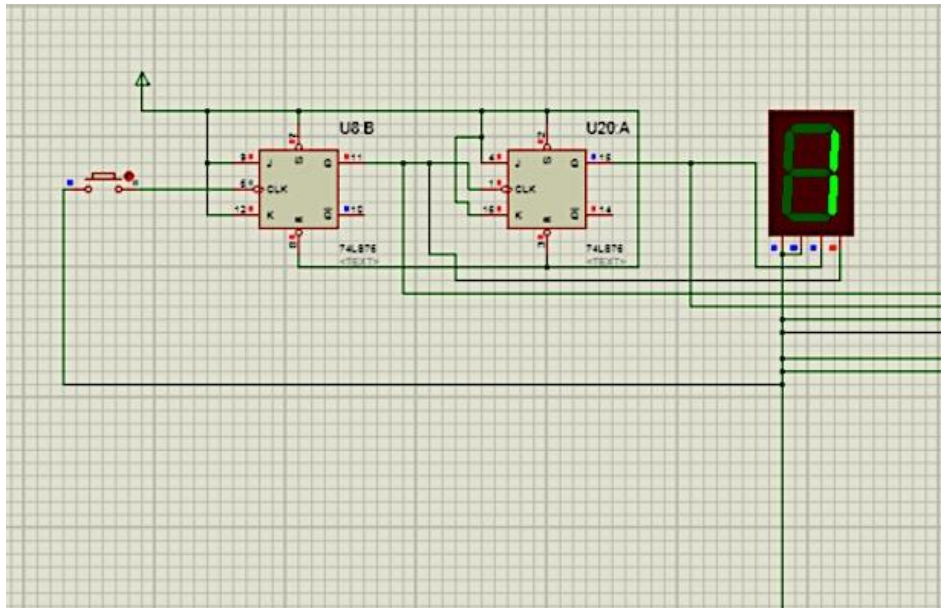
**Figura 4. 43:** Imagen del contador de 8 estados. Estado 8 “*elaboración propia*”.

### 4.1.2 Subsistema de visualización y carga

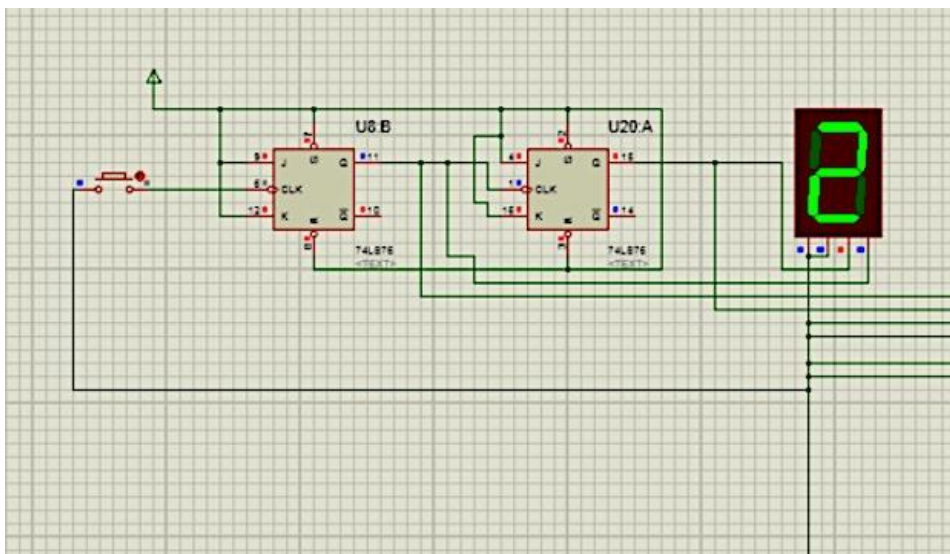
A continuación, vamos a mostrar los cuatro estados correspondientes a las cuatro voces. Para cambiar de estado se hace uso de un botón. Según el estado en el que se encuentre este contador mostrará en los leds los pines que se han almacenado en cada registro.



**Figura 4. 44:** Imagen del contador de 4 estados. Voz 1 “*elaboración propia*”.

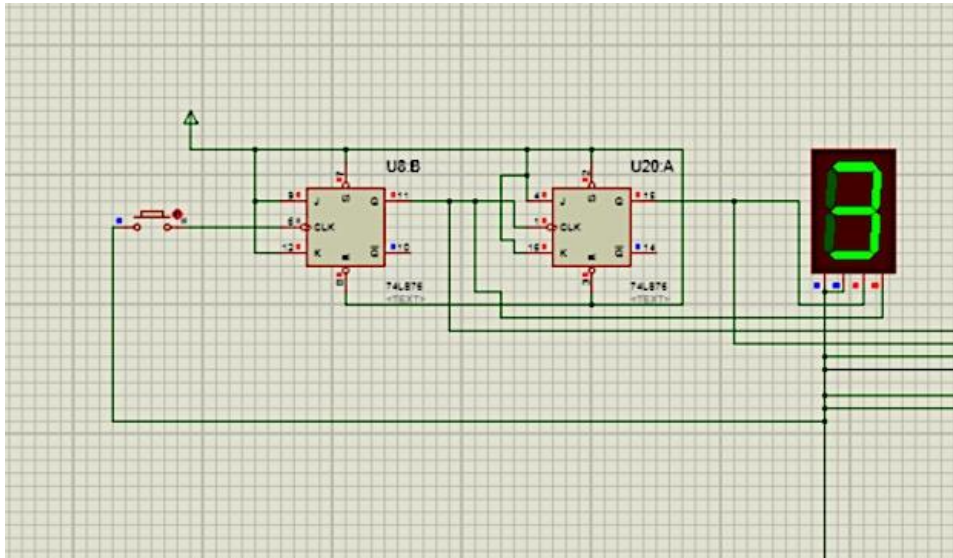


**Figura 4. 45:** Imagen del contador de 4 estados. Voz 2 “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 46:** Imagen del contador de 4 estados. Voz 3 “*elaboración propia*”.

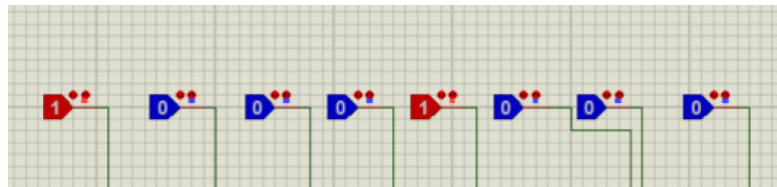




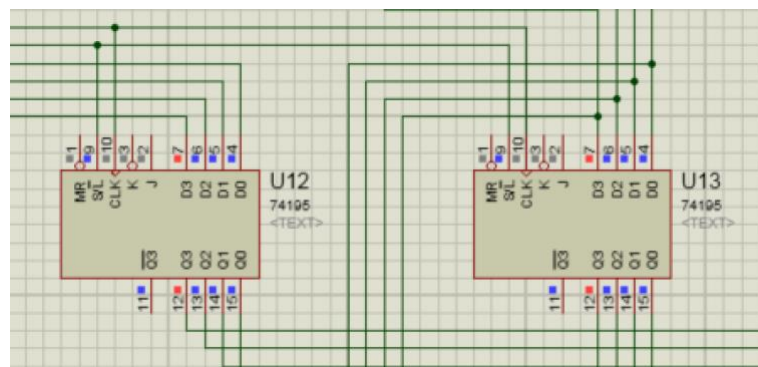
**Figura 4. 47:** Imagen del contador de 4 estados. Voz 4 “*elaboración propia*”.

A continuación, mostraremos la activación de los pines que se almacenaran en memoria y se mostraran en los LED para cada voz.

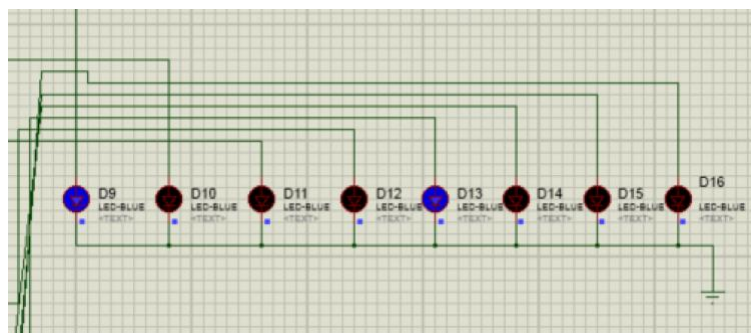
#### Voz 1:



**Figura 4. 48:** Imagen de pulsadores seleccionados para la voz 1 “*elaboración propia*”.

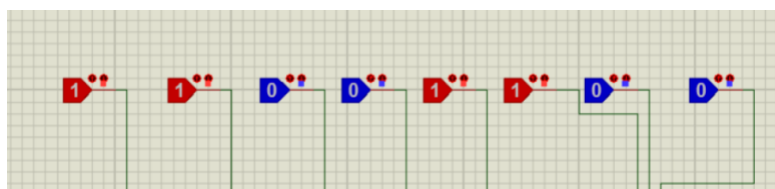


**Figura 4. 49:** Memoria con registro de desplazamiento correspondiente a la voz 1 “*elaboración propia*”.

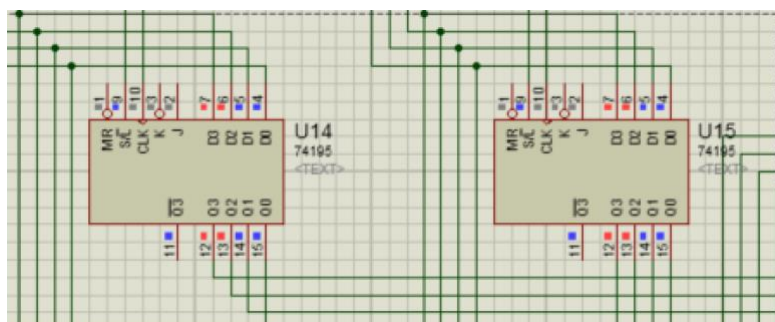


**Figura 4. 50:** LEDS iluminados correspondientes a la memoria de la voz 1 “*elaboración propia*”.

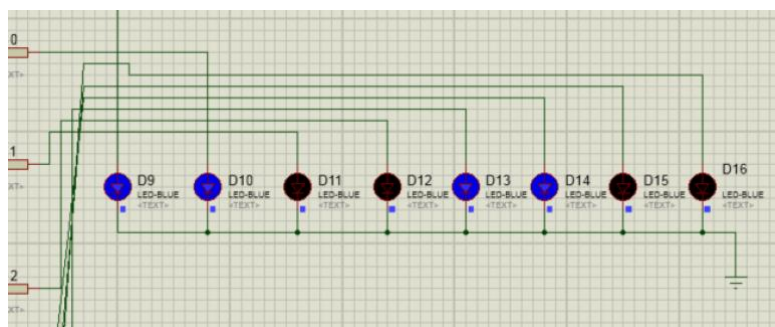
**Voz 2:**



**Figura 4. 51:** Imagen de pulsadores seleccionados para la voz 2 “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 52:** Memoria con registro de desplazamiento correspondiente a la voz 2 “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 53:** LEDS iluminados correspondientes a la memoria de la voz 2 “*elaboración propia*”.

### Voz 3:

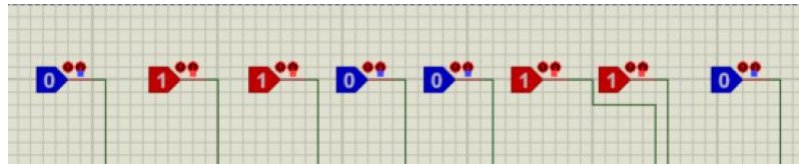


Figura 4. 54: Imagen de pulsadores seleccionados para la voz 3 “*elaboración propia*”.

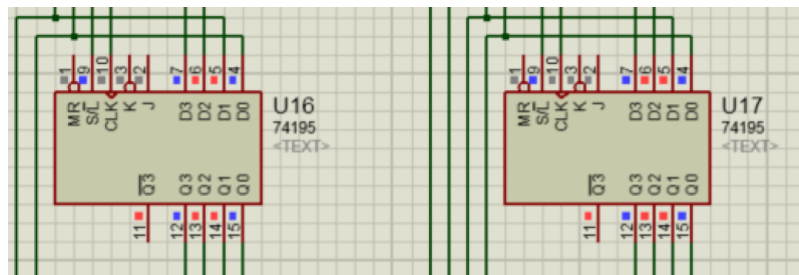


Figura 4. 55: Memoria con registro de desplazamiento correspondiente a la voz 3 “*elaboración propia*”.

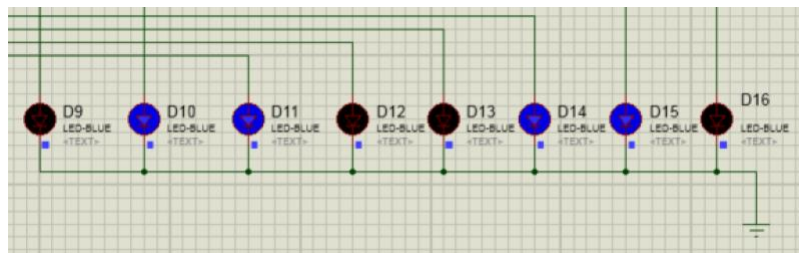


Figura 4. 56: LEDS iluminados correspondientes a la memoria de la voz 3 “*elaboración propia*”.

### Voz 4:

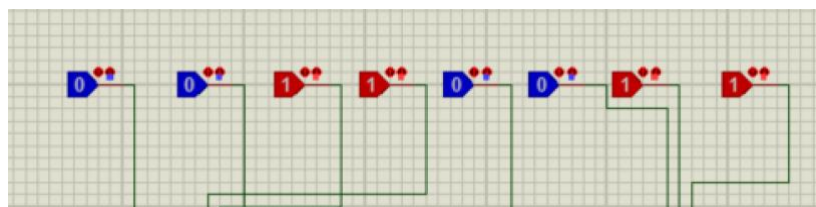
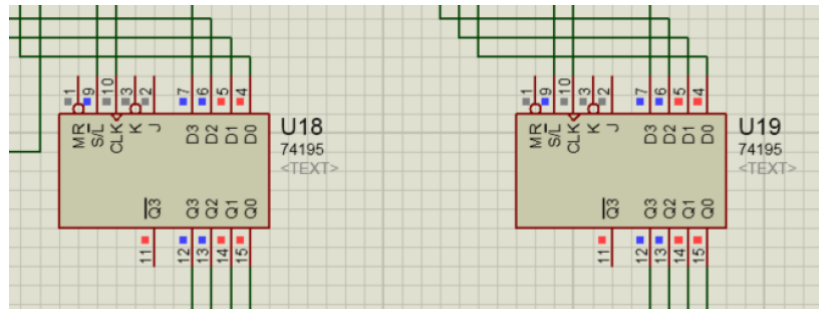
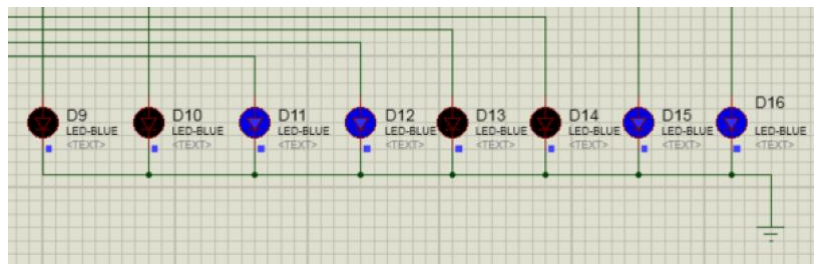


Figura 4. 57: Imagen de pulsadores seleccionados para la voz 4 “*elaboración propia*”.

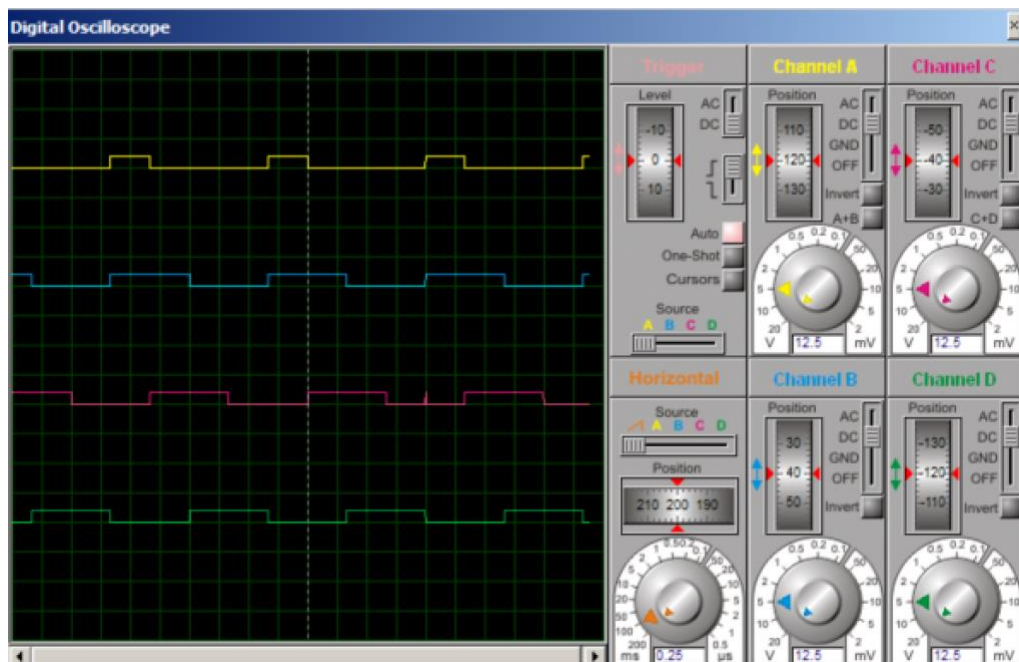


**Figura 4. 58:** Memoria con registro de desplazamiento correspondiente a la voz 4 “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 59:** LEDS iluminados correspondientes a la memoria de la voz 4 “*elaboración propia*”.

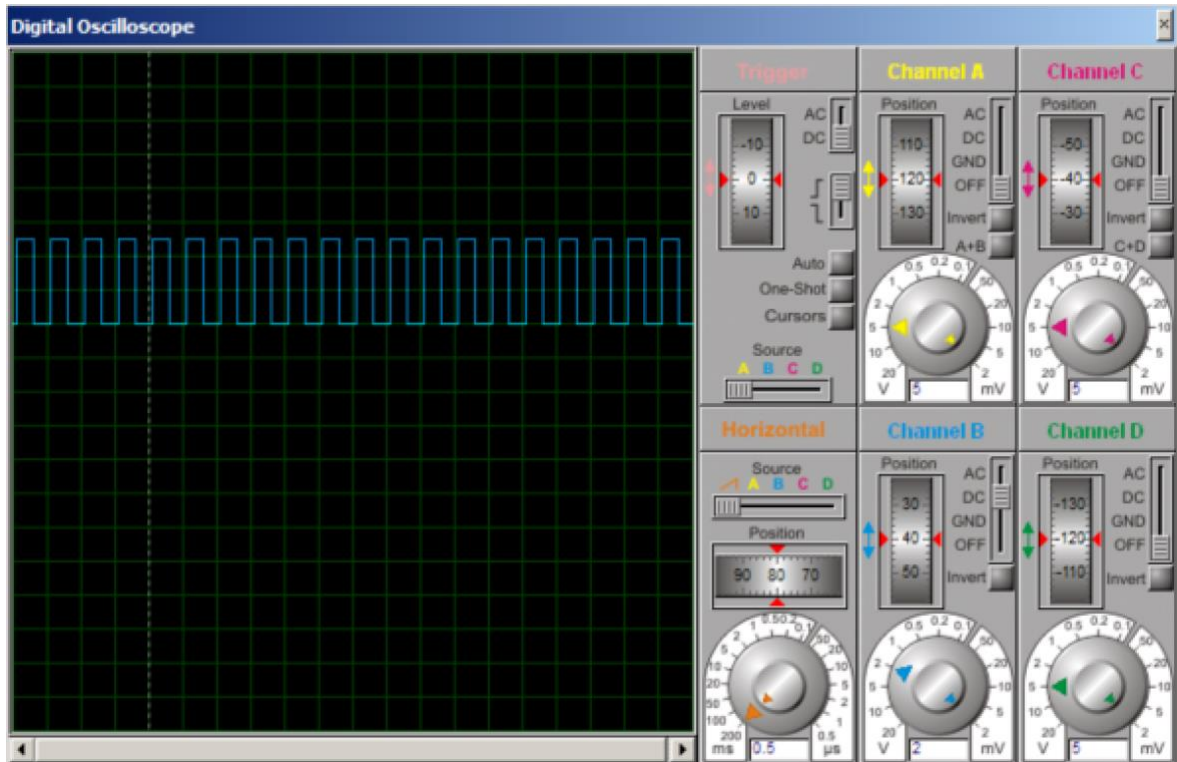
Y por último mostramos la señal de salida de cada voz, que pasara al sistema de generación de señal.



**Figura 4. 60:** Resultado a la salida de los multiplexores correspondientes a cada una de las voces de la caja de ritmos “*elaboración propia*”.

## 4.2 Sistema de control de velocidad bpm (MSP430)

La señal de reloj que genera el MSP430 es la siguiente:



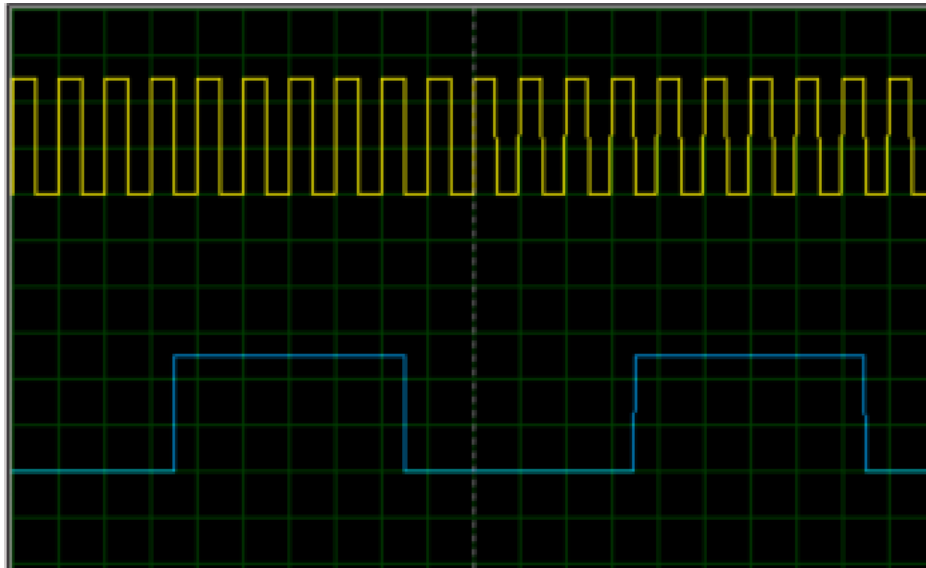
**Figura 4. 61:** Resultado de la señal de reloj programada mediante la MSP430G2553 “*elaboración propia*”.

En la pantalla del osciloscopio nos vamos a fijar en la parte del canal B en azul, y en la parte Horizontal en naranja. En el canal B podemos apreciar como división vertical es de 2 voltios, mientras que en la parte horizontal vemos que cada división horizontal es de 0,5 segundos. Esto implica que la señal que hemos programado tiene 5 voltios de amplitud y un periodo de 0,5 segundos, o lo que es lo mismo, una señal de 2 Hz.

## 4.3 Sistema de generación de señal

Las señales que tenemos a la salida de este sistema son las siguientes:

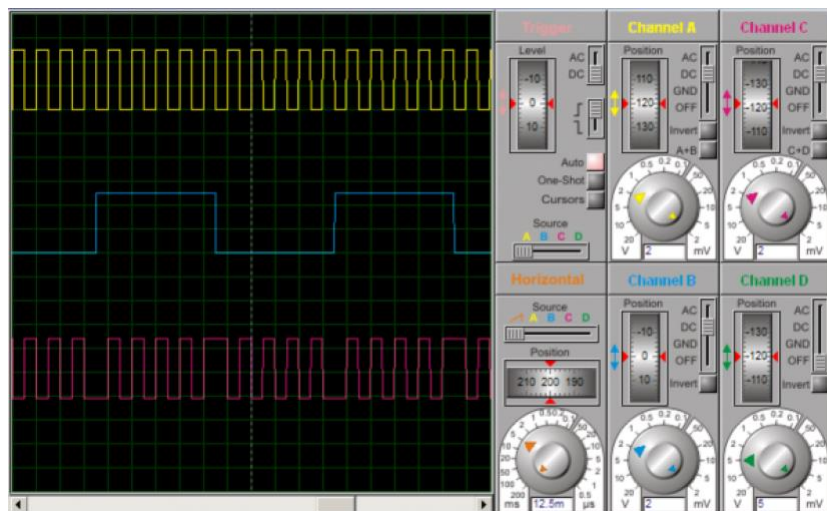




**Figura 4. 62:** Resultado de la salida del VCO (señal en amarillo) y el LFO (señal en azul) “*elaboración propia*”.

Este ejemplo corresponde a única línea de voz en la que se han activado los 8 pines de cada tiempo. La señal roja corresponde a la salida del VCO de 80 Hz mientras que la señal azul es del LFO con 8 Hz.

## 4.4 Sistema de mezclado

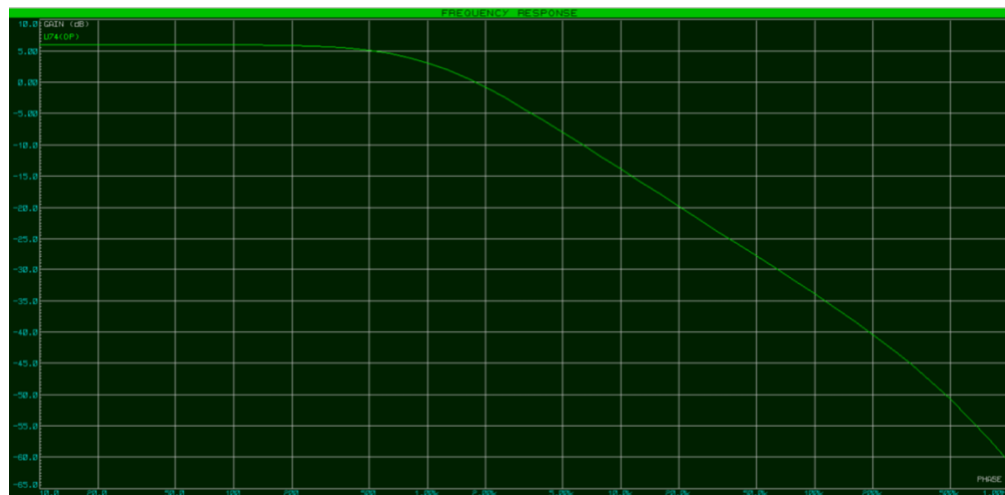


**Figura 4. 63:** Resultado a la salida del sumador (azul, entrada LFO, roja, entrada VCO, verde, señal resultante) “*elaboración propia*”.

Podemos ver en el marcador horizontal como las divisiones horizontales son de 0,0125 segundos, lo demuestra que la señal del VCO es de 80 Hz y la señal del LFO es de 8 Hz. La señal resultante viene de color rojo.

## 4.5 Sistema filtrado

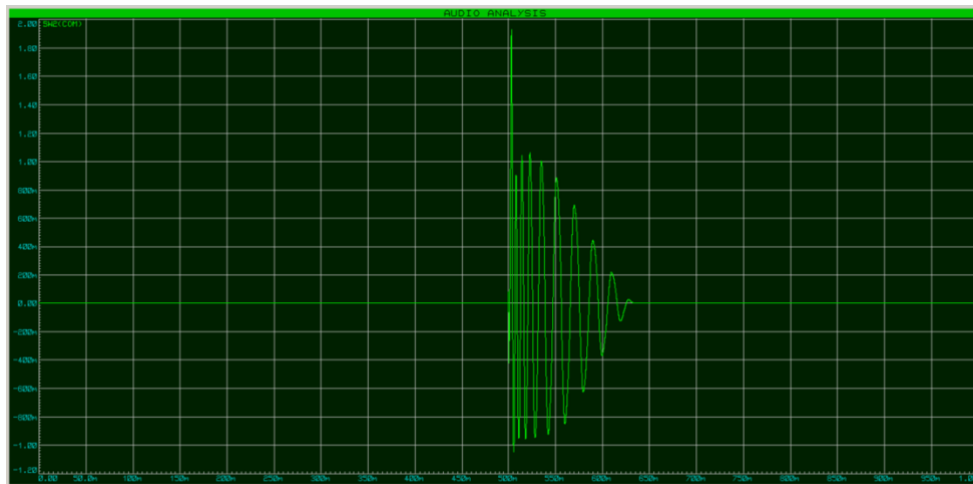
En la figura se observa como el filtro comienza en los 1000 Hz, con una caída aproximada a 3 dB por octava de frecuencia.



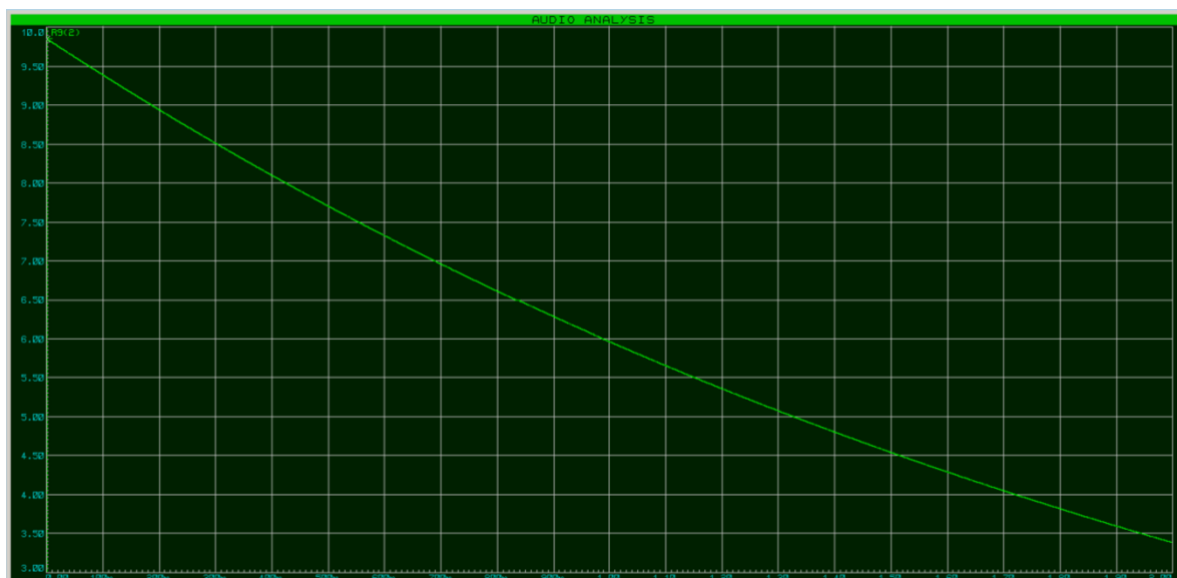
**Figura 4. 64:** Resultado en frecuencia del filtro paso-bajo “*elaboración propia*”.

## 4.6 Sistema de generación de envolvente

Para la obtención de los resultados del sistema generador de envolvente, se ha usado un audio de un sonido que corresponde a un bombo (figura 4.65). Es un sonido corto, que emula a los sonidos generados por las cajas de ritmos habituales.



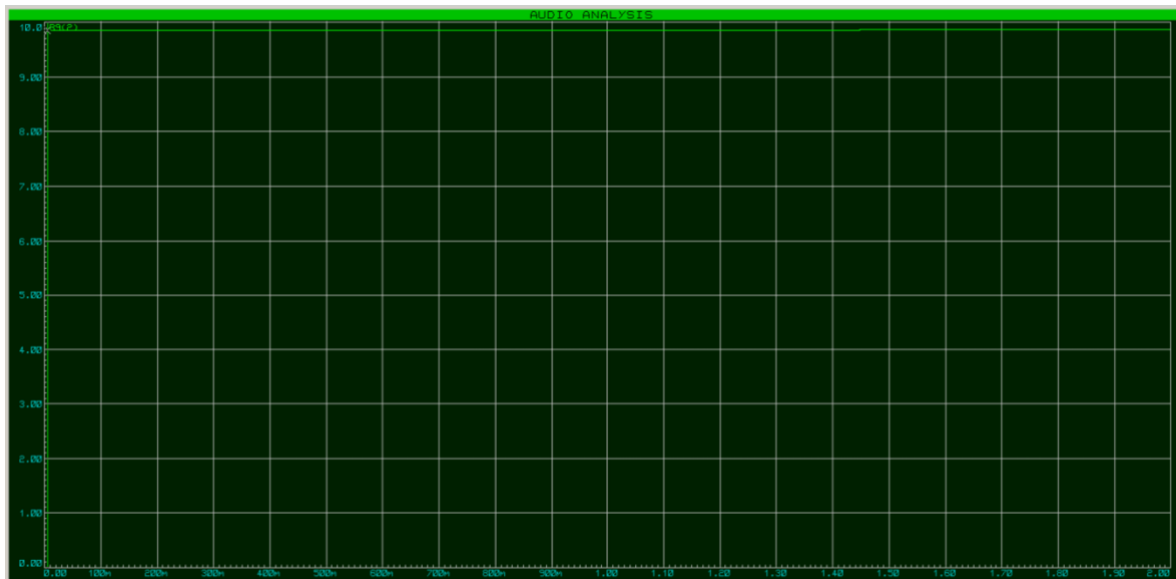
**Figura 4. 65:** Señal de entrada al filtro generador de envolvente “*elaboración propia*”.



**Figura 4. 66:** Señal de salida del filtro generador de envolvente. Efecto de ataque 0%, efecto de relajación 50% “*elaboración propia*”.

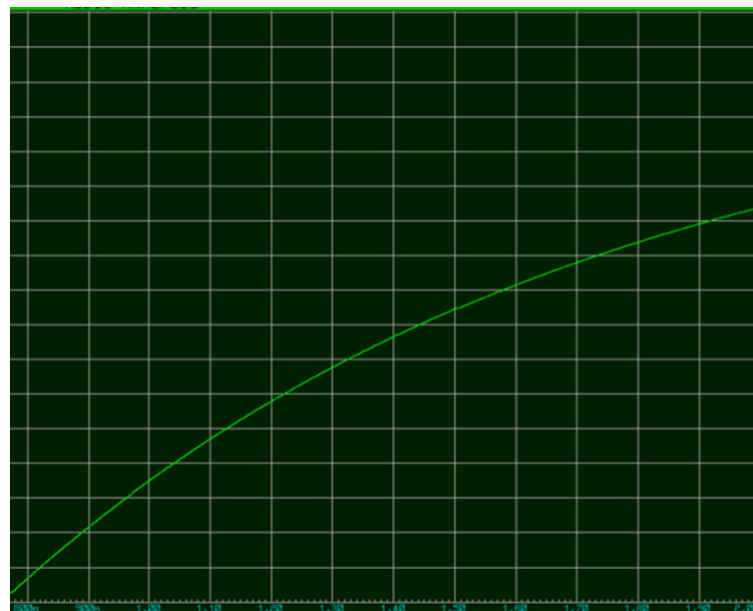
La figura 4.66 muestra el resultado de la señal de salida sin efecto de ataque y con un 50% de efecto de relajación.





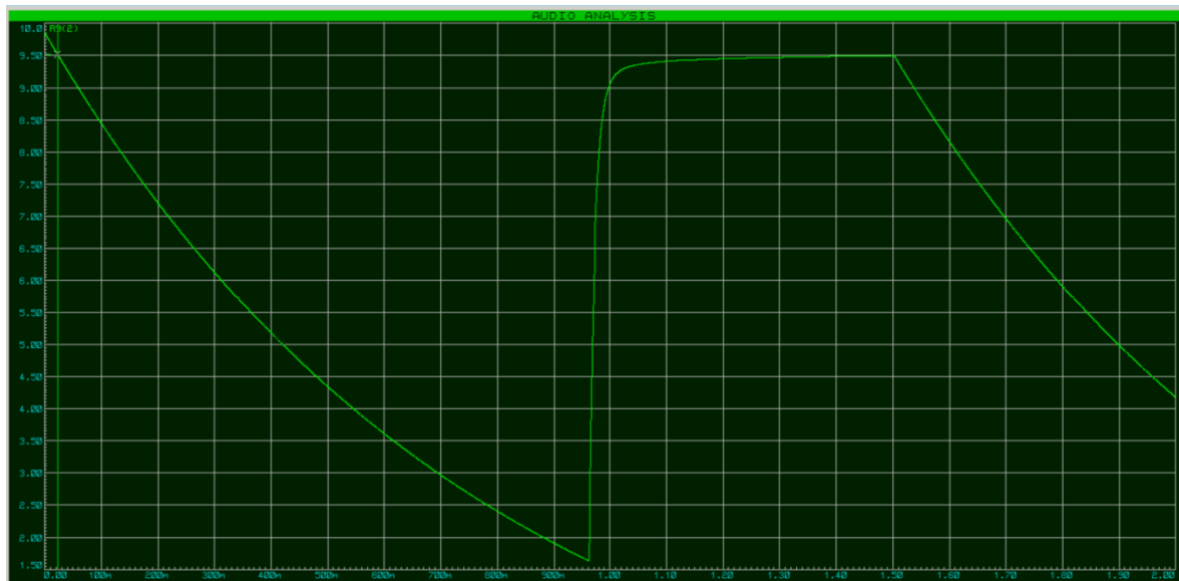
**Figura 4. 67:** Señal de salida del filtro generador de envolvente. Efecto de ataque 0%, efecto de relajación 100% “*elaboración propia*”.

La figura 4.67 muestra el resultado de la señal de salida sin efecto de ataque y con un 100% de efecto de relajación.



**Figura 4. 68:** Señal de salida del filtro generador de envolvente. Señal de ataque 100% “*elaboración propia*”.

La figura 4.68 muestra el resultado de la señal de salida con efecto de ataque al 100%.



**Figura 4. 69:** Señal de salida del filtro generador de envolvente. Señal de ataque 40%, señal de relajación 50% *“elaboración propia”*.

La figura 4.69 muestra el resultado de la señal de salida con efecto de ataque al 40 % y con un 50% de efecto de relajación.

## 5. Conclusiones

Los resultados que hemos obtenido mediante el software PROTEUS han sido los esperados en cada uno de los sistemas expuestos. Por otro lado, hay que indicar que estos resultados son ideales, lo que implica que a la hora de realizar el proyecto de forma física uniendo todos los componentes que lo forman pueden surgir problemas inesperados. PROTEUS es un software que ayuda en el diseño e implementación de cualquier tipo de sistema que intentemos crear, pero el resultado final no está asegurado.

Por otro lado, es importante saber que cada uno de los sistemas expuestos pueden ser mejorados en futuras aproximaciones, ya sea reduciendo el número de dispositivos usados, ampliando funcionalidades en los sistemas, reduciendo circuitería, etc.



## 6. Bibliografía

Jose Manuel Iñesta Quereda, (2016). *Síntesis Digital de Sonido*. Apuntes apoyo.

Thomas L. Floyd. (2006) *Fundamentos de sistemas digitales*. Novena edición.

Juan Jose Galiana Merino (2004). *Electrónica Analógica*. Curso en transparencias.